TREC-9

Thailand Renewable Energy for Community Conference

Proceedings

ประชุมสัมมนาวิชาการ

รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9

The 9th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-9)

29 พฤศจิกายน -1 ธันวาคม 2559

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (ดอยสะเก็ด)

TREC-9

Thailand Renewable Energy for Community Conference

Proceedings

ประชุมสัมมนาวิชาการ

รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9

The 9th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-9)

29 พฤศจิกายน - 1 ธันวาคม 2559

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (ดอยสะเก็ด)

สารจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นสถาบันอุดมศึกษาที่ให้ความสำคัญกับการวิจัยและบริการวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่สังคมและชุมชน ที่ผ่านมามีความร่วมมือระหว่างสถาบันอุดมศึกษาและหน่วยงานภาครัฐอื่น ตลอดจนภาคเอกชนต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องจนเกิดการบูรณาการองค์ความรู้ที่นำไปสู่การพัฒนาคุณภาพการศึกษา สังคม ชุมชน และประเทศชาติ

ปัญหาความต้องการใช้พลังงานและมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นปัญหาที่นานาประเทศให้ความสนใจและรณรงค์ให้มีการลดการใช้พลังงาน สำหรับประเทศไทยซึ่งโดยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพด้านเกษตรกรรม โดยต้องนำเข้าพลังงานมากกว่าร้อยละ 60 ของความต้องการ ดังนั้นการพัฒนาพลังงานทางเลือก ต่าง ๆ ให้เป็นนวัตกรรมทางพลังงาน จึงมีความสำคัญต่อชุมชน สังคม และประเทศไทยอย่างยิ่ง

ในนามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ขอแสดงความชื่นชมและยินดีที่จะสนับสนุนการจัดประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้เพียรพยายามศึกษาค้นคว้าจนเกิดองค์ความรู้ใหม่ ซึ่งจะเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาองค์ความรู้ทางเทคโนโลยีและนวัตกรรมให้ก้าวทันและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับโลกพลังงานยุคใหม่ต่อไป

(รองศาสตราจารย์ ดร.นำยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

สารจากนายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

ในนามของนายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ซึ่งได้ก่อตั้งขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษา วิจัย สนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนของประเทศอย่างยั่งยืน โดยเน้นการนำพลังงานและรูปแบบการจัดการพลังงาน เพื่อนำไปใช้ได้จริงอย่างเหมาะสมต่อชุมชนในประเทศไทย เพื่อให้เกิดผลได้อย่างแท้จริงจากการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานสะอาด ซึ่งรวมถึงการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ชีวมวล และพลังงานจากน้ำ ซึ่งเป็นพลังงานต้นกำเนิดที่มีอยู่ในชุมชนทุกที่ การจัดประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9 นี้เป็นการจัดงานในรูปแบบใหม่อีกครั้งหนึ่งของสมาคมฯ ซึ่งจะเป็นประโยชน์เป็นอย่างยิ่งต่อนักวิชาการ นักศึกษาและประชาชนทั่วไปในการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ในการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ในชุมชน โดยจะมีผลต่อการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศอย่างเหมาะสม จะทำให้เราอยู่ร่วมกับธรรมชาติและสามารถพึ่งพาตนเองได้ในอนาคต โดยสมาคมจะเป็นศูนย์กลางในการดำเนินกิจกรรมที่ดี ทางด้านพลังงานที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ความมั่นคง การบริหารจัดการที่เหมาะสม การสร้างรายได้ให้กับชุมชน อย่างยั่งยืนคู่กับประเทศไทยตลอดไป

ในฐานะตัวแทนของสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ขอโอกาสพิเศษนี้ใคร่ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เจ้าภาพในการจัดงานประชุมสัมมนาวิชาการในครั้งนี้ และท่านที่ปรึกษากิตติมศักดิ์ของสมาคมฯ ผู้สนับสนุนทุกท่าน ร่วมถึงทีมงานในการจัดงานครั้งนี้

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดงานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9 ในครั้งนี้จะสำเร็จลุลวงด้วยดี และเป็นประโยชน์ต่อองค์ความรู้โดยรวมทั้งภาคชุมชน และภาควิชาการของประเทศไทยต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์)
นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Review)

ศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์	ฤทธิเดช	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สิงห์ทอง	พัฒนเศรษฐานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช	อินต๊ะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร	ไชยญาติ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุสรณ์	แสงประจักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนพล	มีนา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย	โรยนรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี	ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี	อริยวิริยะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพร	ปัญโญใหญ่	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์	ทิพจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา	ยืนยงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย	เดชธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์	จันทร์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ	ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา	ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญญัติ	นิยมวาส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.วิเชียร	อูปแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.พิสิษฐ์	มณีโชติ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.สหัทยา	ทองสาร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.ภาสวรรธน์	วัชรดำรงค์ศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร.จักรกฤษณ์	เคลือบวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร.ยุธนา	ศรีอุดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร.วรวิภา	ยงประยูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ดร.วรจิตต์	เศรษฐพรรค์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ดร.อำพล	อาภาธนากร	สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ
ดร.ถนัด	เกตุประดิษฐ์	บริษัท เอ็นจีนีโอ จำกัด

สารบัญ

กลุ่มที่ 1 ไฟฟ้าชุมชน

		หน้า
023	อุปกรณ์ทดสอบศักยภาพกำลังคลื่นทะเลใกล้ชายฝั่งชนิดทุ่นลอย	2
034	การศึกษาเปรียบเทียบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว	11
036	การลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ครีบความร้อนอลูมิเนียม	19
039	การจำลองระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าด้วยมอเตอร์กระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยอัตราส่วนความเร็วปลายใบ	27
043	ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริด ที่ติดตั้งบนหลังคาในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทองจังหวัดพัทลุง	42
044	สมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบกริด ที่ติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ณ ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง จังหวัดพัทลุง	52
049	การศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค: กรณีศึกษาการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกอง	67
055	การสร้างเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรความเร็วรอบต่ำโดยใช้ แพลนเนตตารี่เกียร์	74
058	การศึกษาผลกระทบการขวางการไหลของอากาศต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลด้วยคอมพิวเตอร์	81
059	การออกแบบติดตั้งและทดสอบกังหันน้ำขนาดเล็กเพื่อการผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์	92
060	ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกร่วมกับเลนส์เฟรสเนล	100
063	การออกแบบสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำพลังงานแสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่สำหรับชุมชน	108
065	ผลกระทบจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTV ร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	114
068	การศึกษาผลกระทบของการกีดขวางการไหลของลมเนื่องจากอาคารที่มีต่อประสิทธิภาพกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์โดยใช้วิธีแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล	122

กลุ่มที่ 2 ความร้อนชุมชน

หน้า

012 การวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ทำงานร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน 130

035 การศึกษาค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น 139

067 การทดสอบการสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลา 147

กลุ่มที่ 3 เชื้อเพลิงชุมชน

014 การศึกษาอัตราส่วนของของแข็งรวมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของซังข้าวโพดบดและน้ำเสีย 156

017 การผลิตแก๊สชีวภาพจากกากปาล์มน้ำมันร่วมกับมูลสุกร 162

019 การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 169

026 การพัฒนาระบบควบคุมการระบายความร้อนของแผงโซล่าเซลล์โดยใช้กาลักน้ำ 180

028 การศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มด้วยตัวทำละลายร่วม 187

029 ผลของเมทานอลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา 196

031 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มแบบหมุนวนด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว 204

032 การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มกับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 213

046 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการอบชีวมวล 224

048 การประเมินสมรรถนะเครื่องอัดถ่านเพื่อผลิตถ่านอัดแท่งที่มีศักยภาพทางความร้อนและทางเศรษฐศาสตร์ 232

056 การปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน ด้วยเตาขนาด 200 ลิตร 244

057 การผลิตไบโอดีเซลแบบไม่แยกกลีเซอรีนจากน้ำมันพืชเหลือทิ้ง 252

062 การประเมินทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแข็งจากใบอ้อย 260

069 การศึกษาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก 268

กลุ่มที่ 4 การประหยัดพลังงาน

008 การประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม กรณีศึกษา 274

021 การถ่ายเทความร้อนในเครื่องผลิตไอศกรีมโบราณขนาดพกพา 284

053 ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าแบบประหยัดของแหล่งพลังงานทดแทนร่วมเพื่อชุมชน 290

061 ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของอาคารประหยัดพลังงานด้วยโฟมอีพีเอส 297

066 การศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้จากการใช้รถยนต์ของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) 304

กลุ่มที่ 5 นวัตกรรมพลังงานทดแทน

หน้า

007	การออกแบบชุดผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์สำหรับพื้นที่ภัยพิบัติ	314
011	การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์	321
013	การวิเคราะห์เลือกสารทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับประเทศไทย	331
015	การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบแสงสว่างสำนักงานโดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2 kWp	339
016	การพัฒนาตู้อบพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และไฟฟ้า	344
018	การวิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ	349
024	ศึกษาความเป็นไปได้ของการเลี้ยงปลาหมอในระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกในระดับชุมชน	355
040	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบอัดไอ ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์คอมเพรสเซอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน สารทำความเย็น R22 สำหรับใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	365
050	เตาอบดินเผาสำหรับอบไก่โดยใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดและควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	376
052	การเตรียมแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้วัสดุรีไซเคิล HDPE และวัสดุไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทย	384
071	การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวแกนตั้ง ขนาด 3 กิโลวัตต์	390
072	ระบบผลิตและส่งจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรระดับชุมชน และการประยุกต์ใช้ร่วมกับเตาถ่าน	398

กลุ่มที่ 6 การจัดการพลังงานในชุมชน

033	การพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเห็ด	408
042	การวิเคราะห์สมรรถนะการผลิตพลังงานและการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน	415
047	การพัฒนาแนวทางการฟื้นฟูความชุ่มชื้นในป่าชุมชนจังหวัดลำปาง	430
051	การจัดการพลังงานชุมชนโดยบูรณาการหน่วยงานรัฐกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษา : ตำบลดงเมือง อำเภอยางสีสุราช จังหวัดมหาสารคาม	442
054	ระบบวัดบันทึกเฝ้าระวังระยะไกลแบบชาญฉลาดสำหรับไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	449
064	การศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจากเศษผักผลไม้เหลือทิ้ง	454
073	การทดสอบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็นจากโมดูลไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อน	459

กลุ่มที่ 1 ไฟฟ้าชุมชน

อุปกรณ์ทดสอบศักยภาพกำลังคลื่นทะเลใกล้ชายฝั่งชนิดทุ่นลอย

The Potential of Wave Power Test Device on the Coastal by Buoy Floating Type

กังสดาล สกุลพงษ์มาลี* เจิมธง ปรารถนารักษ์ จุติพร อินทะนิน และ ปองพล รักการงาน

Kangsadan Sagulpongmalee*, Chermthong Prattanaruk, Jutiporn Intanin and Pongphol Rakkanrane

หน่วยวิจัยและประยุกต์พลังงานทดแทน สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ต.นาวุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000

Alternative Energy Research and Application Unit, Division of Energy Engineering,

Faculty of Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University,

38 Moo 8, Na Wung, Mueang, Phetchaburi, 76000, Thailand

*Email: kangsadan9@gmail.com
เบอร์โทรศัพท์ 0866361698 โทรสาร 032405502

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบ ติดตั้ง และทดสอบอุปกรณ์ศึกษาศักยภาพกำลังคลื่นทะเลใกล้ชายฝั่งบริเวณหาดเจ้าสำราญ จ.เพชรบุรี โดยใช้ทุ่นลอยเป็นอุปกรณ์ดักจับพลังงานคลื่น ซึ่งเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของคลื่นทะเล ทุ่นลอยถ่ายทอดกำลังผ่านแขนยึดทุ่นลอยหนึ่งกลไก ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นให้เป็นเชิงมุม จากการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์ที่มีผลต่อกำลังของคลื่นทะเล ได้แก่ ค่าความหนาแน่นของน้ำทะเล คาบของคลื่นทะเล และความสูงของคลื่นทะเล เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจวัดส่วนใหญ่จมอยู่ในน้ำทะเลจึงได้ทำการออกแบบชุดตรวจวัดการเคลื่อนที่ของแขนโดยใช้การสอบเทียบความต้านทานไฟฟ้ากับมุมของแขนทุ่นลอย เพื่อหาค่าความสูงของคลื่นทะเล ผลการสอบเทียบพบว่า อุปกรณ์สอบเทียบมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เท่ากับ 0.999 จากการตรวจวัดคาบของคลื่นทะเล พบว่า ในช่วงที่ทำการทดสอบคาบของคลื่นทะเลในแต่วันมีค่าไม่เท่ากัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.88-7.68 s ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.23 s โดยผลการทดสอบ พบว่าคลื่นทะเลมีความสูงเฉลี่ย 0.21096, 0.13578 และ 0.12031 m ตามลำดับ เมื่อนำพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมาคำนวณหากำลังของคลื่นทะเล พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.77645, 0.27542 และ 0.20718 kW/m ตามลำดับ ซึ่งเป็นกำลังคลื่นทะเลที่ไม่สูงมากนัก แต่เนื่องจากค่าที่ได้เป็นค่ากำลังของคลื่นทะเลต่อหนึ่งกลไก ซึ่งถ้ามีการออกแบบพัฒนาเพิ่มกลไกให้มากขึ้นประกอบกับการนำไปต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของกลไกของแขนทุ่นลอย ก็จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น

Abstract

This research aimed to study the design, installation, and testing to potential wave ocean power test device on the coastal area at Had Chao Samran beach in Phetchaburi province by using buoy floating is wave energy converter (WEC) moves follow the motion of ocean waves and transfer to beam of buoy. The buoy transport power pass beam of buoy has only one mechanism which is the transport and the capture of wave energy to do useful work by converted liner motion to rotational motion. The study found that parameters of wave ocean power were seawater density, wave period and wave height. The testing device design used electrical resistance calibration with buoy beam angle to find wave height. The result of calibration found that the calibration equation has precision and high reliability value (R-square) equal to 0.999 which can be used in this experiment. The measurement of wave period found that it was unstable in each day in the range of 4.88 – 7.68 s and average wave period at 6.23 s. The result shows that wave height has 0.21096, 0.13578 และ 0.12031 m respectively. The related parameters to calculate wave ocean power is equal to 0.77645, 0.27542, and 0.20718 kW/m respectively which be not high wave

ocean power but this is only one mechanism if develop design to increase mechanism and high efficiency of generation, this wave ocean power device system will has more efficiency.

คำสำคัญ : พลังงานคลื่นทะเล, กำลังไฟฟ้า, ทุ่นลอย

Keywords: Ocean Wave Energy, Electricity, Buoy Floating

1. บทนำ

จากสถิติพลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2556มีการใช้พลังงานหมุนเวียน คิดเป็นร้อยละ 7.9 และพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมร้อยละ 10.7 ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะ และเชื้อเพลิงชีวภาพ (เอทานอล และ ไบโอดีเซล) ซึ่งคิดเป็นพลังงานหมุนเวียนสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ ร้อยละ 11.6 โดยก๊าซธรรมชาติยังคงเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในปี 2556 มากที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 65.2 ของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด รองลงมาเป็นถ่านหิน/ลิกไนต์ น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล (กระทรวงพลังงาน, 2556). เพื่อให้เกิดความมั่นคงทางพลังงานของประเทศไทยจึงได้มีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น โดยในแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555 - 2564) (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021) (กระทรวงพลังงาน, 2554)ได้กำหนดเป้าหมายพลังงานคลื่นทะเลซึ่งจัดอยู่ในประเภทพลังงานรูปแบบใหม่ที่จะได้รับการพัฒนาให้เกิดขึ้นจำนวน 2 MW ภายในปี พ.ศ. 2564 ต่อเมื่อเมื่อ ปี พ.ศ.2558 ได้มีการปรับปรุงแผนเป็นแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 หรือเรียกว่า AEDP 2015 (กระทรวงพลังงาน, 2558) ได้มีปรับพลังงานคลื่นทะเลออกจากแผนคาดว่าเนื่องจากขาดงานวิจัยและพัฒนาด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นอย่างจริงจัง จึงมีแนวความคิดในการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาพลังงานจากคลื่นเพื่อพัฒนาให้พลังงานคลื่นทะเลเป็นพลังงานทางเลือกที่มีศักยภาพของประเทศไทยในอนาคต ประกอบกับ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีมีพื้นที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเพชรบุรีติดกับทะเลอ่าวไทย ซึ่งชายฝั่งทะเลอ่าวไทยมีความยาว 1,840 km ความลึกเฉลี่ย 58 m โดยจังหวัดเพชรบุรีมีระยะทางตลอดแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทยรวม 93.285 km (อรอร สาราจิตต์ และ กาญจนา นาคะภากร, 2557) จึงมีแนวความคิดในการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถประเมินศักยภาพการนำพลังงานคลื่นทะเลมาผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับศักยภาพของท้องถิ่น ซึ่งได้แก่ บริเวณชายฝั่งทะเลหาดเจ้าสำราญ จ. เพชรบุรี เพื่อประเมินศักยภาพของการนำพลังงานจากคลื่นทะเลมาใช้เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในอนาคต

2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

López, et al., (López, et al., 2013) ได้ศึกษาศักยภาพของเทคโนโลยีพลังงานคลื่น พบว่า พลังงานคลื่นเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มหาศาลและมีความเสถียรภาพมากกว่าพลังงานหมุนเวียนชนิดอื่น เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม เพราะว่าศักยภาพในการผลิตพลังงานของพลังงานคลื่น เท่ากับ 2-3 kW/m^2 มากกว่าลม (0.4-0.6 kW/m^2) และแสงอาทิตย์ (0.1-0.2 kW/m^2) เนื่องจากการแปลงพลังงานคลื่นสามารถผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 90% ของช่วงเวลา ส่วนอุปกรณ์ของพลังงานลมและแสงอาทิตย์จะแปลงได้ 20-30% จากการศึกษาและสำรวจข้อมูลจากทั่วโลกในช่วง 10 ปี ได้ทำแผนที่คลื่น (wave atlas) พบว่า กำลังคลื่นทะเลที่มีศักยภาพสูงส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 40° และ 60° ของทั้งสองซีกโลก แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ พบว่า กำลังคลื่นรายปีเฉลี่ยของทางขั้วโลกใต้จะสูงกว่า แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลก็จะต่ำกว่า

Mirzaei, et al (Mirzaei, et al, 2013) ได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานคลื่นทะเลของชายฝั่งตะวันออกของคาบสมุทรมาเลเซีย (Peninsular Malaysia) ที่อยู่ทะเลจีนใต้

(South China Sea, SCS) ในช่วง 31 ปี (ค.ศ. 1979-2009) ด้วยแบบจำลอง จากการคำนวณศักยภาพของคลื่นจะขึ้นกับสมการกำลังคลื่นทะเลน้ำลึก พบว่า พลังงานคลื่นจะสูงขึ้นในพื้นที่ทางตอนเหนือของชายฝั่งขณะที่ทางตอนใต้บางส่วนมีค่าต่ำกว่า

Buccino, et al (Buccino, et al, 2015) ได้ทำการพัฒนาส่วนประกอบของระบบการแปลงพลังงานคลื่น (wave energy converter, WEC) แบบกำแพงกันคลื่นในทะเล (sea wall) เพื่อพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังน้ำชนิดความแตกต่างของเฮดต่ำมาก (น้อยกว่า 2.5 m) ซึ่งใช้กังหันน้ำชนิดคาปลาน (Kaplan turbine) โดยสะสมพลังงานคลื่นไว้ในอ่างเก็บน้ำแนวชายฝั่ง (shoreline overtopping reservoir) จากการทดสอบที่อัตรา พบว่า ความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองซึ่งมีการทดสอบที่ความสูงของคลื่น 1.0 และ 1.5 m แบบฐานเป็นทางลาด (ramp) ระหว่าง 0.71-2.5 m พบว่า คาบของคลื่นอยู่ในช่วง 3.5-10 s ที่ระดับความแตกต่างเฮดระหว่าง 1-2.5 m อัตราการไหล 1-3.5 $m^3/s/m$ จะได้กำลังคลื่น เท่ากับ 6-52 kW/m เมื่อทำการติดตั้งจริงที่ชายฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือของอิตาลี พบว่า อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของปริมาณพลังงานที่ผลิตจริง (capacity factor) อยู่ระหว่าง 12-20% ซึ่งมีค่าใกล้กับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และลม ระบบสามารถทำงานได้และให้พลังงานออกมาในปริมาณตลอดระยะทางแนวชายฝั่งมีจำกัด และถ้ามุมลาดชันเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้อัตราน้ำล้นมากยิ่งขึ้น

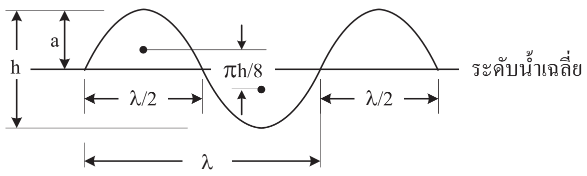
เจิมธง ปรารถนารักษ์ และ คณะ (เจิมธง ปรารถนารักษ์ และ คณะ, 2558).ได้พัฒนาต้นแบบกลไกผลิตกระแสไฟฟ้าแบบทุ่นลอย ซึ่งใช้คลื่นทะเลเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนชุดกลไก โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วง ตามค่าแอมปลิจูดของคลื่น ผลการทดสอบ พบว่า ระบบกลไกสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วง 300 วินาที ได้ 57.83, 189.80 และ 228.25 W ตามลาดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงาน 8.31, 16.29, 13.95% ตามลาดับ จากนั้นทำการปรับปรุงการทำงานของกลไก โดยเลื่อนเฟสและเลือกความถี่การแกว่งตัวของทุ่นให้สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของคลื่นทะเล พบว่า ระบบกลไกสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วง 300 วินาที ได้ 81.49, 368.24 และ 929.77 W ตามลำดับ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 11.59, 31.63 และ 56.85 % ตามลาดับ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยว พบว่า งานวิจัยมีทั้งที่เป็นแบบจำลองและการสร้างเครื่องมือทดสอบจริง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยในต่างประเทศเป็นการสร้างอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นทะเลนอกชายฝั่ง อีกทั้งในต่างประเทศยังมีลักษณะของคลื่นทะเลที่มีความสูงคลื่นมากกว่าประเทศไทย จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสมกับประเทศไทย ซึ่งก่อนที่ประเทศไทยจะพัฒนาพลังงานคลื่นทะเลสู่การผลิตพลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องมีข้อมูลด้านศักยภาพกำลังคลื่นทะเล แต่เนื่องจากประเทศได้มีความสนใจด้านพลังงานคลื่นทะเลไม่นานนักจึงทำให้ยังขาดข้อมูลในด้านนี้ และอุปกรณ์ตรวจวัดค่าพลังงานคลื่นทะเลมีราคาสูงมาก จึงได้ออกแบบอุปกรณ์ทดสอบศักยภาพกำลังคลื่นทะเลใกล้ชายฝั่งชนิดทุ่นลอย เพื่อหาค่าความสูงคลื่นทะเลสำหรับคลื่นทะเลที่มีค่าความสูงคลื่นต่ำ

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลังงานจากคลื่นทะเลจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติ โดยคลื่นทะเลเป็นปรากฏตามธรรมชาติ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสลมพัดผ่านผิวน้ำทำให้เกิดคลื่นน้ำและถ่ายทอดพลังงานไปยังจุดอื่น ๆ สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรเป็นเขตร้อนอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมหรือลมประจำฤดู (Thai Marine Meteorological Center, 2557) ซึ่งเป็นลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางไปตามฤดูกาลของช่วงระยะเวลา การนำพลังงานจากคลื่นที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์มีหลักการ คือ ต้องมีอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่จะสามารถรับพลังงานที่ถ่ายทอดจากคลื่นเป็นช่วง ๆ ได้ พลังงานที่ได้จากคลื่นจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลไปหมุนกังหันผลิตไฟฟ้า จึงสามารถแบ่งการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น ซึ่งเรียกว่า อุปกรณ์ดักจับพลังงานคลื่น (Wave Energy Converter หรือ WEC) ได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ ได้แก่ แบบติดกับชายฝั่ง (fixed shore-mounted) และแบบทุ่นลอย (floating devices) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกอุปกรณ์ตรวจวัดแบบทุ่นลอย ซึ่งพัฒนาโดยอาศัยหลักการให้พลังงานคลื่นที่ตกกระทบจะตั้ง

ฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากมวลของน้ำที่ตกผ่านหน้าคลื่น พลังงานศักย์ของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าเท่ากับ การย้ายมวลของน้ำจากระดับน้ำทะเลไปยังจุดศูนย์กลางของคลื่น หากคลื่นทะเลมีลักษณะเป็นคลื่นรูปซายน์แบบสมบูรณ์ (pure sinusoidal wave) ดังภาพที่ 1 Tester, et al ได้มีการคำนวณหากำลังคลื่นจากไฮโดรไดนามิกส์ของคลื่นซึ่งมีความซับซ้อนมาก แต่สามารถประมาณได้ดังสมการ (1) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการหาค่ากำลังคลื่นทะเล คือ ความหนาแน่นของน้ำทะเล ความสูงคลื่น และ คาบของคลื่น (วรนุช แจ้งสว่าง, 2553)



ภาพที่ 1 พลังงานศักย์ของคลื่น

$$P = \frac{\rho g^2 h^2 T}{16\pi} \quad (1)$$

เมื่อ P คือ กำลังคลื่นทะเล (kW/m)

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำทะเล (kg/m^3)

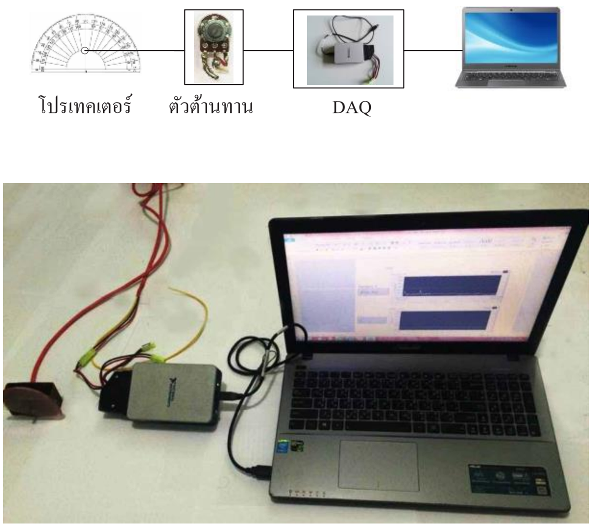
h คือ ความสูงคลื่นทะเล (m)

T คือ คาบของคลื่น (s)

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การสอบเทียบค่าเครื่องมือวัดมุมการเคลื่อนที่ของแขนยึด

การออกแบบอุปกรณ์และกลไกตรวจวัดซึ่งอุปกรณ์ส่วนใหญ่ของระบบจะมีส่วนที่จมอยู่ในน้ำทะเล เนื่องจากเป็นงานวิจัยที่ทำการทดสอบในพื้นที่จริงบริเวณชายฝั่งทะเล ซึ่งระบบทุ่นและโครงสร้างเสาเหล็กจะได้รับการกระแทกจากคลื่นทะเลตลอดเวลา ดังนั้น การใช้เครื่องมือวัดโดยทั่วไปจึงมีข้อจำกัดและไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน จึงได้ออกแบบระบบตรวจวัดหาความสูงคลื่นทะเลโดยเฉพาะ โดยใช้วัดการเคลื่อนที่เชิงมุมด้วยตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (variable resistor) ชนิด B ขนาด 5kΩ ซึ่งสอบเทียบค่ามุมกับโปรเทคเตอร์ครึ่งวงกลมซึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ (Data Acquisition, DAQ) และจัดเก็บข้อมูลในคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่เชิงมุมของทุ่นลอยกับค่าความต้านทานไฟฟ้า ดังภาพที่ 2

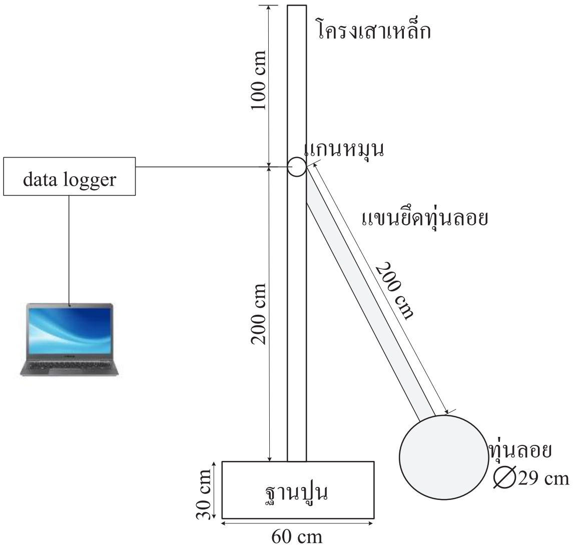


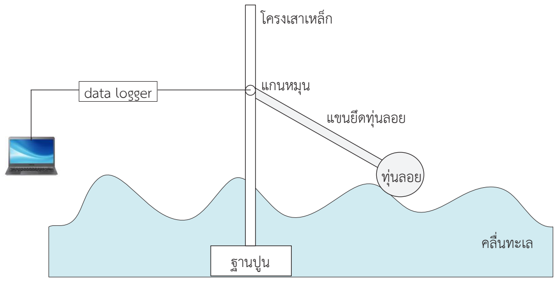
ภาพที่ 2 อุปกรณ์และระบบการวัดค่าการเคลื่อนที่เชิงมุมกับค่าความต้านทานไฟฟ้า

3.2 ออกแบบอุปกรณ์ทดสอบศักยภาพคลื่นทะเล

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญของการหาศักยภาพกำลังคลื่นทะเล คือ ความสูงคลื่น และ คาบของคลื่น จึงได้ออกแบบอุปกรณ์ทดสอบการวัดศักยภาพพลังงานจากคลื่นทะเล ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกรูปแบบการถ่ายทอดพลังงานเป็นแบบลอยเคลื่อนที่ตามคลื่นทะเล ซึ่งอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของคลื่นตามแนวดิ่งทำให้เกิดพลังงานศักย์แล้วส่งผ่านพลังงานมาให้กับชุดอุปกรณ์แขนของทุ่นลอยที่เชื่อมต่อกับเพลาตรงฐานยึดเพื่อวัดความสูงของคลื่นและตรวจวัดคาบของคลื่น ดังภาพที่ 3 ทำการทดสอบเก็บค่าทุก 30นาที และช่วงเวลาเก็บค่าเป็นระยะเวลานาน 5 นาที แล้วนำมาหา

ค่าเฉลี่ย ส่วนการหาคาบของคลื่นหาได้โดยการยืนจับเวลาของยอดคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง



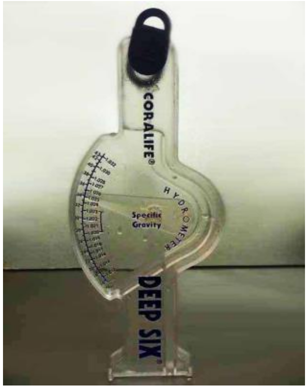


ภาพที่ 3 อุปกรณ์ตรวจวัดศักยภาพคลื่นทะเล

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของน้ำทะเล

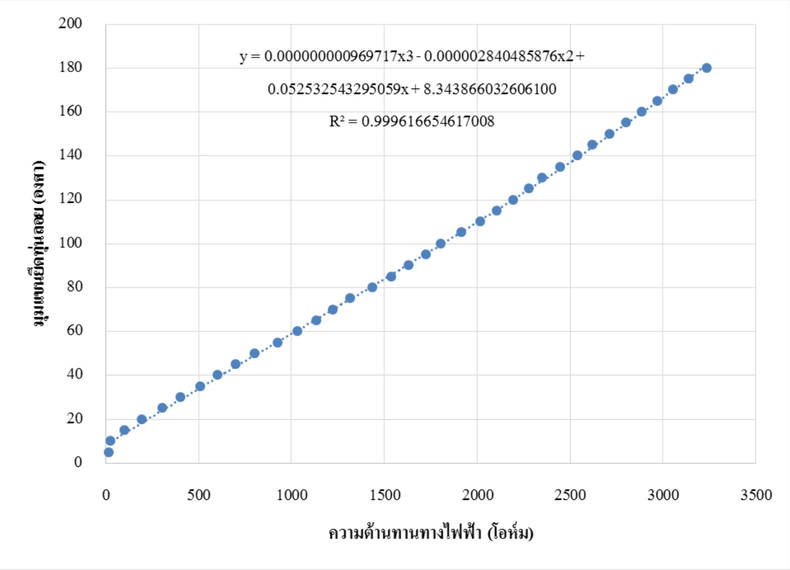
ทดสอบน้ำทะเลจากชายฝั่งทะเลหาดเจ้าสำราญ อ.เมือง จ.เพชรบุรี เพื่อหาค่าความความถ่วงจำเพาะ โดยใช้เครื่องมือไฮดรอมิเตอร์ (hydrometer) ที่มีช่วงความละเอียดของการวัดค่าของน้ำทะเล 1.012 – 1.032 ดังภาพที่ 4 จากการตรวจวัด พบว่า น้ำทะเลมีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1.025 ซึ่งคิดเป็นค่าความหนาแน่นของน้ำทะเล เท่ากับ 1,025 kg/m^3



ภาพที่ 4 ไฮดรอมิเตอร์

4.2 ผลการสอบเทียบค่าเครื่องมือวัดมุมการเคลื่อนที่ของแขนยึด

เนื่องจากในสภาพการทดสอบจริงมีความยากลำบากในการวัดและเก็บค่าผลของความสูงของคลื่นทะเลทุก ๆ วินาที ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการเคลื่อนที่ตลอดเวลาเป็นคลื่นรูปซายน์ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการสอบเทียบการเคลื่อนที่ของแขนยึดทุ่นลอยกับค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ซึ่งความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะนำไปเทียบเป็นมุมของแขนทุ่นลอย โดยใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูล ดังภาพที่ 2 ซึ่งได้ค่าผลการสอบเทียบ ดังภาพที่ 5 พบว่าสมการสอบเทียบมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เท่ากับ 0.999 จากนั้นนำค่ามุมของแขนทุ่นลอยที่สอบเทียบได้นี้ไปคำนวณเพื่อหาค่าความสูงของคลื่นทะเลซึ่งได้จากการทดสอบในทะเลจริงในลำดับต่อไป



ภาพที่ 5 กราฟสอบเทียบมุมแขนยึดทุ่นลอยกับความต้านทานทางไฟฟ้า

4.3 ผลการทดสอบคาบของคลื่นทะเล

จากการตรวจจับเวลาการเคลื่อนที่ของคลื่น 1 ลูกคลื่น เพื่อหาคาบของคลื่นทะเล พบว่า ทะเลหาดเจ้าสำราญมีค่าคาบคลื่นทะเลไม่คงที่ในแต่ละวัน โดยในช่วงที่ทำการทดสอบในเดือนธันวาคม พ.ศ.2558– มกราคม พ.ศ. 2559 คาบของคลื่นทะเล มีค่าอยู่ในช่วง 4.88 – 7.68 s ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.23 s

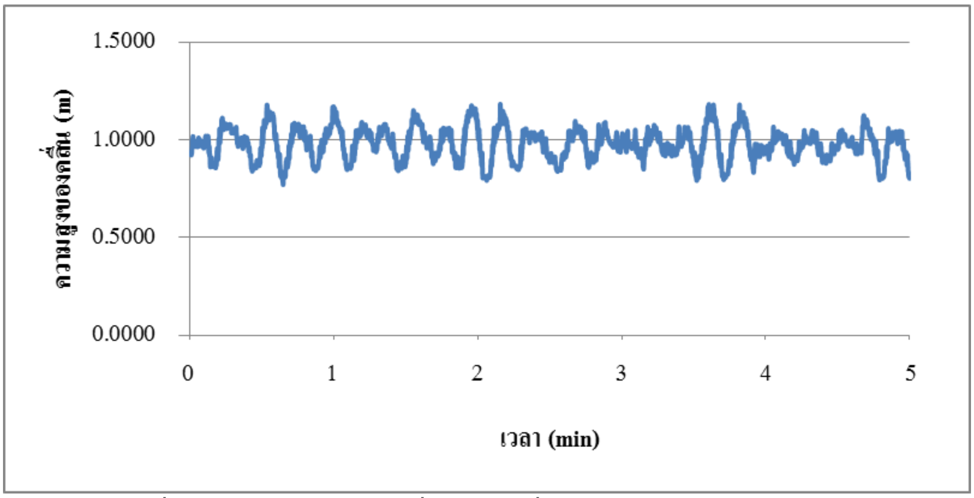
4.4 ผลการทดสอบการหากำลังคลื่นทะเล

จากการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัด จากภาพที่ 3 และทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดศักยภาพพลังงานจากคลื่นทะเลบริเวณชายฝั่งทะเล ณ พื้นที่หาดเจ้าสำราญ อ.เมือง จ.เพชรบุรี ดังภาพที่ 6 และ 7 จะได้ค่ามุมแขนยึดทุ่นลอย ซึ่งนำมาคำนวณเป็นค่าของความสูงของคลื่นทะเล (h) นำค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องไปแทนค่าในสมการ (1) ก็จะได้กำลังจากคลื่นทะเล ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้

ภาพที่ 6 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดศักยภาพพลังงานคลื่นทะเล ณ หาดเจ้าสำราญ อ.เมือง จ.เพชรบุรี

ภาพที่ 7 การทดสอบอุปกรณ์วัดศักยภาพ
พลังงานคลื่นทะเล ณ หาดเจ้าสำราญ
อ.เมือง จ.เพชรบุรี

ผลการทดสอบศักยภาพกำลังคลื่นทะเลในรอบวัน ในวันที่ 27-28 ธันวาคม 2558 ซึ่งนำผลการทดสอบมาพล็อตกราฟมีลักษณะเป็นรูปคลื่น ในช่วงเวลา 5 นาที ดังภาพที่ 7 โดยช่วงเวลาที่มีค่ากำลังคลื่นทะเลสูงสุด คือ เวลา 15.40-15.45 น. มีค่าความสูงคลื่นทะเล เท่ากับ 0.41614 m ซึ่งคิดเป็นความสูงเฉลี่ยทั้งวัน เท่ากับ0.11319 m จากการตรวจวัดคาบของคลื่นทะเลมีค่าเท่ากับ 6.28 s เมื่อนำพารามิเตอร์ทั้งสองไปคำนวณหาค่ากำลังคลื่นทะเล จะมีค่าเท่ากับ 0.33072 kW/m จากการทดสอบในรอบวันซึ่งพบว่าช่วงเวลาที่คลื่นมีกำลังมากที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 15.40-15.45 น. จึงทำการทดสอบในช่วงเวลา 14.00-18.05 น. ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1



ภาพที่ 7 ลักษณะความสูงของคลื่นทะเลวันที่ 27 ธันวาคม 2558 เวลา 13.10 น.

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังคลื่นทะเล

ช่วงเวลาทดสอบ	วันที่ 4 มกราคม 59 (T=7.68s)		วันที่ 5 มกราคม 59 (T=6.24s)		วันที่ 6 มกราคม 59 (T=6.60s)	
	ความสูงเฉลี่ยคลื่นทะเล (m)	กำลังคลื่นทะเล (kW/m)	ความสูงเฉลี่ยคลื่นทะเล (m)	กำลังคลื่นทะเล (kW/m)	ความสูงเฉลี่ยคลื่นทะเล (m)	กำลังคลื่นทะเล (kW/m)
14.00-14.05	0.08141	0.09976	0.03455	0.01460	0.06519	0.05498
14.30-14.35	0.12298	0.22766	0.07429	0.06750	0.08293	0.08896
15.00-15.05	0.12862	0.24903	0.27909	0.95265	0.07756	0.07783
15.30-15.35	0.32685	1.60808	0.12720	0.19789	0.11087	0.15900

16.00-16.05	0.33777	1.71734	0.14234	0.24781	0.15256	0.30107
16.30-16.35	0.23813	0.85360	0.14216	0.24717	0.10554	0.14410
17.00-17.05	0.21837	0.71778	0.10661	0.13901	0.13872	0.24893
17.30-17.35	0.25261	0.96058	0.14774	0.26695	0.17316	0.38787
18.00-18.05	0.19188	0.55421	0.16801	0.34522	0.17627	0.40194
เฉลี่ย	0.21096	0.77645	0.13578	0.27542	0.12031	0.20718

จากตารางที่ 1 พบว่า ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ 4-6 มกราคม 2559 คลื่นทะเลมีความสูงเฉลี่ย 0.21096, 0.13578 และ 0.12031 m ตามลำดับ ซึ่งสามารถผลิตกำลังคลื่นทะเลได้เท่ากับ 0.77645, 0.27542 และ 0.20718 kW/m ตามลำดับ

5. สรุป

จากการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทดสอบศักยภาพกำลังคลื่นทะเล โดยใช้ทุ่นลอยเป็นอุปกรณ์รับแรงและเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของคลื่นทะเล และถ่ายทอดกำลังผ่านก้านต่อโยงให้กับกลไก ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นให้เป็นเชิงมุม โดยพารามิเตอร์ที่มีผลต่อกำลังของคลื่นทะเล ได้แก่ ค่าความหนาแน่นของน้ำทะเล คาบคลื่นทะเล และความสูงของคลื่นทะเล จึงทำการออกแบบชุดอุปกรณ์สอบเทียบความต้านทานไฟฟ้ากับมุมของแขนทุ่นลอยเพื่อหาค่าความสูงของคลื่นทะเล ผลการสอบเทียบพบว่า อุปกรณ์สอบเทียบมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เท่ากับ 0.999 สามารถนำไปใช้ในการสอบเทียบค่าได้

จากการตรวจวัดคาบของคลื่นทะเลในแต่วันมีค่าไม่เท่ากัน โดยในช่วงที่ทำการทดสอบคาบของคลื่นทะเล มีค่าอยู่ในช่วง 4.88 – 7.68 s ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.23 s เนื่องจากตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์อยู่ใกล้ชายฝั่งมากทำให้ในแต่ละช่วงเวลาที่น้ำทะเลขึ้นหรือลงจะส่งผลต่อคาบของคลื่นทะเลอย่างมาก โดยผลการทดสอบในช่วงเวลา 4-6 ม.ค. 59 พบว่า คลื่นทะเลมีความสูงเฉลี่ย 0.21096, 0.13578 และ 0.12031 m ตามลำดับ เมื่อนำพารามิเตอร์มาคำนวณหากำลังคลื่นทะเล พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.77645, 0.27542 และ 0.20718 kW/m ตามลำดับ ซึ่งเป็นกำลังของคลื่นทะเลที่ไม่สูงมากนัก แต่เนื่องจากค่าที่ได้เป็นค่ากำลังของคลื่นทะเลต่อหนึ่งกลไก ซึ่งถ้ามีการออกแบบพัฒนาเพิ่มกลไกให้มากขึ้นประกอบกับการนำไปต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของกลไกของแขนทุ่นลอย ก็จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

ควรพัฒนางานวิจัยด้านพลังงานคลื่นทะเลเพื่อการต่อยอดในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้หลากหลายรูปแบบของการแปลงพลังงานเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ขอขอบคุณเทศบาลตำบลหาดเจ้าสำราญ อ.เมือง จ.เพชรบุรี ที่อนุญาตให้ดำเนินการทดสอบ และขอขอบคุณ กรมอุตุนิยมวิทยา จ.เพชรบุรี ที่อนุเคราะห์สถานที่ทำการทดสอบในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. (2556). **สถิติพลังงานของประเทศไทย 2556**. [On-line]. Available :http://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_dl_link.php?nid=40511

กระทรวงพลังงาน. (2554). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555 - 2564)** [On-line]. Available : http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf

กระทรวงพลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579** [On-line] . Available :http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/AEDP2015.pdf

เจิมธง ปรารถนารักษ์, กังสดาล สกุลพงษ์มาลี, จุติพร อินทะนิน และ ชาญยุทธ์ อรุณสวัสดิ์. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการเลื่อนเฟสการแกว่งตัวของทุ่นลอยบนชายฝั่ง. **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8** : 331-334.

วรนุช แจ้งสว่าง. (2553). **พลังงานหมุนเวียน** (พิมพ์ครั้งที่ 2). (หน้า 209-217). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรอร สาราจิตต์ และกาญจนา นาคะภากร. (2557). การประยุกต์ภูมิสารสนเทศสำหรับสถานการณ์การกัดเซาะของชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** (6) : 789-800

Buccino, M., Stagonas, D., & Vicinanza, D. (2015). Development of a composite sea wall wave energy converter system. **Renewable Energy** (81) : 509-522.

Cordonnier, J., Gorintin, F., Cagny, A.D., Clement, A.H., and Babarit, A. (2015). SEAREV: Case study of the development of a wave energy converter. **Renewable Energy** (80) : 40-52.

López, I., Andreu, J., Ceballos, S., Alegría, I.M., and Kortabarria, I. (2013). Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** (27) : 413–434.

Mirzaei, A., Tangang, F., & Juneng, L. (2014). Wave energy potential along the east coast of Peninsular Malaysia. **Energy** (68) : 722-734.

Tester, J.W., Drake, E.M., Golay, M.W., Driscoll, M.J., & Peters, W.A. (2005). **Sustainable Energy Choosing Among Options** (pp. 590-608). United States of America: The MIT Press.

Thai Marine Meteorological Center. (2557). **คลื่นมหาสมุทร** [On-line] . Available : http://www.marine.tmd.go.th

การศึกษาเปรียบเทียบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว

A Comparison Study onSingle-Axis Solar Tracking Photovoltaic System

ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล *กิตติ อภิชัยไพบูลย์ และกิตติคุณ ชาติรักษา

Tanit Ruangrungchaikul*, Kitti Apichaipiboon and Kittikun Chatraksa

ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

*Email: tutanit@hotmail.com, โทรศัพท์ 084-752-8947, โทรสาร 02-564-4482

บทคัดย่อ

ระบบติดตามดวงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด รวมถึงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์การวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวและแบบติดตั้งอยู่กับที่ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon)ขนาด 100 วัตต์ (18 โวลต์)

ผลการศึกษาพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวจะผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ ประมาณร้อยละ 10 โดยระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก สามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีที่สุด เนื่องจากการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาทดลองในเดือนพฤศจิกายนซึ่งอยู่ในช่วงที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่อ้อมไปทางทิศใต้

Abstract

Solar tracking system is an appropriate technology to enhance the efficiency of solar energy applications, including electricity production from solar cells. This research was conducted to study the capacity of electricity generation by single-axis solar tracking photovoltaic system, in comparison with the fixed system, using 100 watt (18 volt) polycrystalline silicon solar panels.

The study showed that the electricity generated by single-axis solar tracking photovoltaic systems was about 10 percent more than the fixed system. The east-west single axis solar tracking photovoltaic system showed the best performance as the experiment was conducted in November, while the sun was moving on the south.

คำสำคัญ : ติดตามดวงอาทิตย์, เครื่องติดตามดวงอาทิตย์

Keywords : solar tracking, solar tracker

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำพลังงานจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์และเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญประเทศไทยมีศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง โดยมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รวมรายวันเฉลี่ยต่อปีประมาณ 18.2 MJ/m^2-day(กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2542)ปัจจุบันมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ประโยชน์แตกต่างกันออกไปหลายรูปแบบภาครัฐเองได้ส่งเสริมและมีมาตรการสนับสนุนให้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ตลอดจนมีการวิจัยและพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง รวมถึงระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุดโดยการปรับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ให้ตั้งฉากกับทิศทางของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ จากการศึกษาของ Appleyard (2009)อ้างถึงใน Barsoum(2011)พบว่าระบบติดตามดวง

อาทิตย์แบบแกนเดียวสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าระบบที่อยู่กับที่ ร้อยละ 27-32 ในขณะที่ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ถึงร้อยละ 35-40

สมภพ ผดุงพันธ์ (2558)ได้ทำการวิจัยและพัฒนาเครื่องขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ได้อัตโนมัติ โดยใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้ชุดควบคุมการขับเคลื่อนทำงาน ผลการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ให้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่าแผงที่วางคงที่ในแนวนอน ร้อยละ 13

ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และวัชระวิชญ์ เจียรวรรณ์ (2558)ทำการพัฒนาระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนราคาถูกสำหรับบ้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอาศัยความแตกต่างระหว่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กในการตรวจหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เพื่อกระตุ้นให้ระบบควบคุมทำงานตัด-ต่อวงจรในการขับมอเตอร์เพื่อปรับให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หันเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของโครงสร้างฐานรองรับและส่วนของระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์มีต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 5,250 บาท

ปรีชา มหาไม้ และคณะ (2557)ได้ทำการวิจัยการประจุแบตเตอรี่ด้วยการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนแบบอัตโนมัติ โดยใช้วิธีการตรวจวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากเซ็นเซอร์แบบตัวต้านทานแปรค่าตามแสงร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลการศึกษาพบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนสามารถเก็บพลังงานได้มากกว่าระบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ ร้อยละ 17.72

กรธรรม สถิรกุล และ อภิญญา บุญประกอบ(2556)ทำการพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยสมการเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่โดยเบื้องต้นและใช้เซ็นเซอร์วัดความเข้มเพื่อปรับตำแหน่งละเอียด สามารถชี้ตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ ผิดพลาดไม่เกิน 1 องศา และใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ราคาประหยัด

สิทธิชัย จีนะวงษ์ และคณะ (2556)ทำการพัฒนาระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ ควบคุมการทำงานทั้งหมดด้วยไมโคร-คอนโทรลเลอร์ โดยรับค่าการตรวจจับแสงผ่านตัวต้านทานแปรค่าตามแสง (LDR) และเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง ผลการทดสอบพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบติดตามแสงอาทิตย์ให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่าแผงที่ติดตั้งอยู่กับที่ร้อยละ 37.63

มนูศักดิ์ จานทอง และ อธิราช ประดิษฐ์อภัย (2554)ได้ทำการวิจัยการควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบรับรังสีรวมกลาง โดยออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PIDcontroller) และใช้กล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ผลการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์พบว่าสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงและมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ ±5 พิกเซล

อนุชา ดีผาง และคณะ (2548)ทำการวิจัยระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิตอล ซึ่งเป็นการนำเสนอเครื่องติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนโดยใช้หลักการบังเงาของฉากกั้น มีโฟโต้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์ ผลการทดสอบพบว่าเครื่องติดตามดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2.5 องศา

นอกจากงานวิจัยข้างต้น ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับระบบติดตามดวงอาทิตย์อีกหลายงาน โดยมีการออกแบบกลไกและชุดควบคุมการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันออกไป แต่ส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์ตรวจจับระดับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (เช่น โฟโต้ไดโอดโฟโต้ทรานซิสเตอร์หรือตัวต้านทานแปรค่าตามแสง) ร่วมกับชุดควบคุมการเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ ที่อาจเป็นแบบเชิงกลหรือถ่วงน้ำหนัก หรือใช้วงจรดิจิตอลหรือใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ประมวลผลและควบคุมการเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ (Das, S., et al.,2014;Khan, Md. T. A., et al., 2010;Koyuncu, B. and Balasubramanian, K., 1991; Rao, R. R., et al., 2015;Wang, J. and Lu, C.,2013)ซึ่งระบบดังกล่าวล้วนสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริง แต่มีความ

ซับซ้อนของอุปกรณ์และการออกแบบวงจรการควบคุมที่ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์สูง

ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน สามารถปรับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ให้ตั้งฉากกับทิศทางของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้ตลอดเวลา แต่มีค่าใช้จ่ายสูง งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง โดยประยุกต์ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่พัฒนาโดย ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และวัชระวิชญ์ เจียรวรรณ์ (2558)เป็นต้นแบบ โดยศึกษาการติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ เปรียบเทียบกับระบบอยู่กับที่

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบการติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวเปรียบเทียบกับระบบที่ติดตั้งอยู่กับที่

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3ขั้นตอน คือ 1) เก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูลเบื้องต้น2) ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว 3) ทดสอบการทำงานของระบบ

3.1 การเก็บรวบรวมและศึกษาข้อมูล

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบต่างๆรวมถึงข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยนี้

3.2 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว

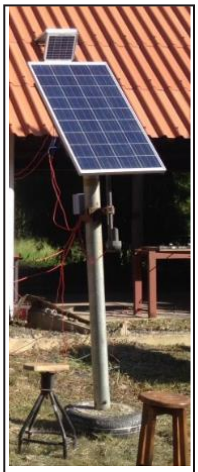
ทำการติดตั้งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Polycrystalline Silicon) ขนาด 100 วัตต์ (18 โวลต์) สำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษานี้ประยุกต์ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนที่พัฒนาโดย ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และวัชระวิชญ์ เจียรวรรณ์ (2558)เป็นต้นแบบ โดยได้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 ชุด (รูปที่ 1) ประกอบด้วย

1) ระบบอยู่กับที่ (หันไปทางทิศใต้ ทำมุม 14 องศากับแนวพื้น)

2) ระบบติดตามดวงอาทิตย์แนวทิศเหนือ – ทิศใต้ (แนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกติดตั้งคงที่อยู่ในแนวขนานกับพื้น)

3) ระบบติดตามดวงอาทิตย์แนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก (แนวทิศเหนือ-ทิศใต้ หันไปทางทิศใต้ ทำมุม 14 องศากับแนวพื้น)

(ก)


(ข)

(ค)

ก) ระบบอยู่กับที่
ข) ระบบติดตามดวงอาทิตย์แนวทิศเหนือ – ทิศใต้
ค) ระบบติดตามดวงอาทิตย์แนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

รูปที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษา

3.3 การทดสอบและวิเคราะห์การทำงานระบบ

ทำการทดสอบการทำงานระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่เปรียบเทียบกับระบบที่มีระบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว โดยทดสอบในสภาพภูมิอากาศจริง และทำการเก็บข้อมูลดังนี้

-ค่ากระแสไฟฟ้า

-ค่าแรงดันไฟฟ้า

-ค่าความเข้มแสงอาทิตย์

ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าอ่านค่าจากเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ (Solar Charge Controller) และบันทึกค่าความเข้มแสงอาทิตย์โดยใช้เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์โดยบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ตั้งแต่ 08:00 น. ถึง 17:00 น. หลังจากเก็บข้อมูลแล้วนำไปเข้าโปรแกรมแสดงผลในคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์ผลการทดสอบทำการวิเคราะห์ผลการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบ โดยเปรียบเทียบความเข้มแสงอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการทดสอบซึ่งกำลังไฟฟ้าคำนวณได้จากสูตร

$$P = IV$$

P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

V = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

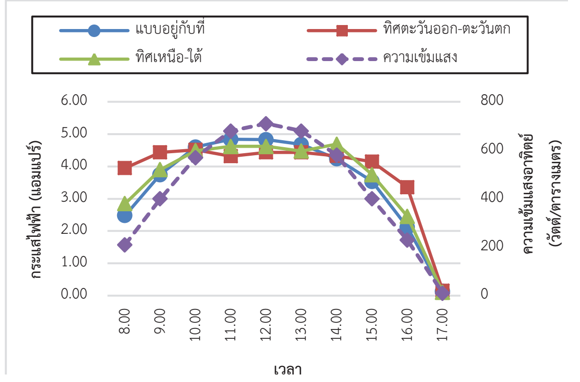
4. ผลการวิจัย

ระบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวที่ใช้ในการศึกษานี้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์ประมาณ 2,500 บาท (ตารางที่ 1) ซึ่งลดลงจากระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนที่พัฒนาโดยธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และวัชระวิชญ์ เจียรวรรณ์ ประมาณร้อยละ 50 โดยอุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาได้ง่ายในท้องตลาดทั่วไปภายในประเทศ

ตารางที่ 1ราคาอุปกรณ์ระบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว

รายการ	จำนวน	ราคา (บาท)	ราคารวม (บาท)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์(5 วัตต์)	2	300	600
ไดโอดบริดจ์	1	40	40
รีเลย์ 8 ขา 24 โวลต์พร้อมฐาน	2	100	200
ขั้วต่อสายไฟ	1	30	30
สายไฟ	1	200	200
กล่องใส่อุปกรณ์	1	130	130
มอเตอร์ขาจานดาวเทียม	1	1,100	1,100
แกนหมุนและอื่นๆ	1	200	200
รวม			2,500

การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในการศึกษานี้ทำการทดสอบในสภาพอากาศจริง โดยทำการทดสอบในช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่อ้อมไปทางทิศใต้ จากข้อมูลผลการทดสอบสามารถนำมาเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 วัตต์ ดังรูปที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ (ยกตัวอย่างผลการทดสอบวันที่ 24 พฤศจิกายน 2558)

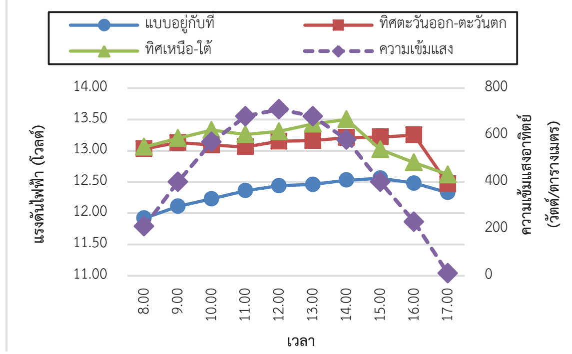


รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และกระแสไฟฟ้า

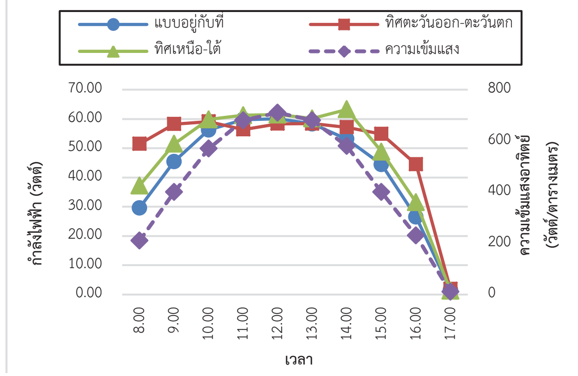
จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาของวัน โดยจะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์มากขึ้นเรื่อยๆตั้งแต่เวลาประมาณ 8:00 น. จนกระทั่งสูงสุดในช่วง 12:00 น.และลดลงจากช่วงบ่ายถึงช่วงเย็นซึ่งค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดเฉลี่ยในช่วงเวลา 11:00 ถึง 13:00 น. ทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวมีกระแสไฟฟ้ามากกว่าช่วงเวลาอื่นๆ

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าในช่วงเช้าเวลา 8:00 น. ถึง 10:00 น. และในช่วงเย็นเวลา 14:00 น. ถึง 17:00 น. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์มีค่ากระแสไฟฟ้ามากกว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วย

เซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ แต่ในช่วงเวลา 11:00 น. ถึง 13:00 น. ค่ากระแสไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่มีแนวโน้มสูงขึ้นมากกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงเช้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ทำการประจุไฟฟ้าได้ค่อนข้างดีส่งผลให้มีพลังงานสะสมในแบตเตอรี่สูงขึ้นมาก แต่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ยังมีพลังงานสะสมในแบตเตอรี่น้อย (ดังจะเห็นได้จากระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 3)ในช่วงเที่ยงซึ่งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบได้รับแสงอาทิตย์ค่อนข้างจะไม่แตกต่างกันมากทำให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่มีพลังงานสะสมอยู่น้อยกว่าจึงมีค่ากระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่แบตเตอรี่สูงกว่าระบบแบบติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 3 จะสังเกตได้ว่าระดับแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการประจุไฟฟ้า โดยค่าความเข้มแสงอาทิตย์ไม่ค่อยมีผลต่อระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบมากนัก ส่วนรูปที่ 4 แสดงให้เห็นได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่ากระแสไฟฟ้าซึ่งจะแปรผันตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์เนื่องจากกำลังไฟฟ้าคือผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้ามีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าจึงขึ้นอยู่กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นหลัก

การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ซึ่งเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมที่ผลิตได้เมื่อสิ้นสุดการทดสอบในแต่ละวันโดยอ่านจากเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ (Solar Charge Controller) แสดงดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์		ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (วัตต์-ชั่วโมง)		
		24 พ.ย.58	25 พ.ย.58	26 พ.ย.58
อยู่กับที่		401	319	256
ติดตามดวงอาทิตย์	ตะวันออก-ตะวันตก	451	361	302
	เหนือ-ใต้	437	345	295

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การเปรียบเทียบกับระบบอยู่กับที่	ความแตกต่างการผลิตไฟฟ้า (%)			
	24 พ.ย.58	25 พ.ย.58	26 พ.ย.58	เฉลี่ย
ตะวันออก-ตะวันตก	10.99	11.71	15.41	12.70
เหนือ-ใต้	8.28	7.54	13.50	9.77

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์มีค่ามากกว่าระบบอยู่กับที่ ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกจะมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

สะสมมากที่สุด รองลงมาคือเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ และเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่จะมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สะสมน้อยที่สุด จากตารางที่ 3 เปรียบเทียบความแตกต่างในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละระบบซึ่งจะเห็นว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกมีพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สะสมมากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่เฉลี่ยประมาณร้อยละ 12.70 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้มากกว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ร้อยละ 10 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สมภพ ผดุงพันธ์ [4] ซึ่งกล่าวว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวจะมีประสิทธิภาพมากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ ร้อยละ 13

จากการศึกษาทดลองนี้สังเกตได้ว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกมีแนวโน้มที่ดีที่สุด คือ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสะสมได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบดังกล่าวให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่โดยเฉลี่ยสูงกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ทำการทดลองในช่วงเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่อ้อมไปทางทิศใต้ตั้งแต่เช้าจนเย็น จึงทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ซึ่งติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ทำมุม 14 องศา กับแนวพื้นดินได้เปรียบระบบอื่นๆ โดยทำให้ได้รับแสงอาทิตย์ในแนวที่ค่อนข้างตั้งฉากตลอดทั้งวัน ในขณะที่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ จะได้รับแสงอาทิตย์ในแนวค่อนข้างตั้งฉากเฉพาะช่วงเวลาใกล้เที่ยงวัน ซึ่งหากทำการทดลองในช่วงที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่อ้อมไปทางทิศเหนือ เช่น ช่วงเดือนมิถุนายนหรือเดือนกรกฎาคม รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกจะมีมุมเฉียงหนีออกจากแนวตั้งฉากมากซึ่งจะทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยลง

หากวิเคราะห์ในภาพรวมตลอดทั้งปีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ มีแนวโน้มที่จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งปีได้มากกว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกเนื่องจากสามารถปรับมุมรับแสงอาทิตย์ให้หันไปในทิศที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านได้ตลอดทั้งปี โดยได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงในช่วงเวลาประมาณ 11:00-13:00 น. ของทุกๆวัน ทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกันในทุกๆวัน ในขณะที่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก จะสามารถทำงานได้ดีในช่วงที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่อ้อมไปทางทิศใต้เท่านั้น อย่างไรก็ตามระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวทั้ง 2 ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวทั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกและแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ประมาณ ร้อยละ 10 โดยในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาทดลองในเดือนพฤศจิกายนซึ่งอยู่ในช่วงที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่อ้อมไปทางทิศใต้มีผลทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกซึ่งทำการติดตั้งหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด

การศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาการทดสอบ ทำให้สามารถทำการทดลองได้เพียงช่วงระยะเวลาสั้น จึงมีข้อเสนอแนะให้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยเก็บข้อมูลให้ครบถ้วนตลอดทั้งปี เนื่องจากแนวการเคลื่อนที่ของดวง

อาทิตย์เปลี่ยนไปทุกวันตลอดทั้งปี โดยบางช่วงเวลาดวงอาทิตย์เคลื่อนที่อ้อมไปทางทิศใต้และบางช่วงเวลาดวงอาทิตย์เคลื่อนที่อ้อมไปทางทิศเหนือ ซึ่งจะทำให้ได้ผลการศึกษาที่ชัดเจนขึ้น

การศึกษาครั้งนี้ทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 วัตต์ ซึ่งมีขนาดเล็ก ทำให้โครงสร้างรองรับไม่ซับซ้อน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาพัฒนาสำหรับระบบที่ใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานจริงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงขึ้นหรือสามารถประยุกต์ใช้งานสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Farm) ได้

นอกจากนี้ควรจะมีการศึกษาพัฒนาระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ให้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำลง เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากขึ้น โดยเฉพาะสำหรับผู้ที่มีทุนน้อย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีชนบทคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนงบประมาณการศึกษาวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

กรธรรม สถิรกุล และ อภิญญา บุญประกอบ. (2556).การพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานพลังงานทดแทน.**Bulletin of Applied Science** 2(2): 90-99.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2542).**แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: จิรังรัชต์.

ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และวัชระวิชญ์ เจียรวรรณ์. (2558).ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนราคาถูกสำหรับบ้านพลังงานแสงอาทิตย์.**การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8**. จังหวัดปทุมธานี.

ปรีชา มหาไม้ นำพร ปัญโญใหญ่ และ ภาสวรรธน์ วัชรดำรงศักดิ์. (2555). การประจุแบตเตอรี่ด้วยการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนแบบอัตโนมัติ.**วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม**8(2): 1-12.

มนูศักดิ์ จานทอง และ อธิราช ประดิษฐ์อภัย. (2554).การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบรับรังสีรวมกลาง**การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25**.จังหวัดกระบี่.

ศักดา สุวรรณประเสริฐ (2546). เครื่องควบคุมแผงโซล่าเซลล์เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์.**วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สมภพ ผดุงพันธ์. (2558).เครื่องขับเคลื่อนแผงโซล่าเซลล์ตามแสงอาทิตย์อัตโนมัติ.**วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์**7(1):81-91.

สิทธิชัย จีนะวงษ์ น่านนที กัลยา และ เสาวลักษณ์ ชัยยืน. (2556). ระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ.**วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม**9(3):151-165.

อนุชา ดีผาง สิงห์ทอง พัฒนเศษฐานนท์ และเจริญพร เลิศสถิตธนกร. (2548). ระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิตอล.**การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1.** จังหวัดชลบุรี.

Barsoum, N. (2011). Fabrication of dual-axis solar tracking controller project**. Intelligent Control and Automation**2: 57-68.

Das, S., et al. (2014). Single axis automatic solar tracking system using microcontroller.**TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering** 12(12): 8028-8032.

Khan,Md. T. A., et al. (2010). Design and construction of an automatic solar tracking system.**6th International Conference on Electrical and Computer Engineering,** Dhaka, Bangladesh.

Koyuncu,B. and Balasubramanian,K. (1991). A microprocessor controlled automatic sun tracker.**IEEE Transactions on Consumer Electronics** 37(4): 913-917.

Rao,R. R., et al. (2015).Comparison of performance of solarphotovoltaics on dual axis tracker withfixed axis at 13ºN latitude.**Current Science** 108(11): 2087-2094.

Wang,J. and Lu, C. (2013). Design and implementation of a sun tracker with a dual-axis single motor for an optical sensor-based photovoltaic system.**Sensors** 13: 3157-3168.

การลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ครีบความร้อนอลูมิเนียม

Reducing Temperature of Photovoltaic with Aluminum Fins

ปองพล รักการงาน[1]*, ภาณุศักดิ์ มูลศรี[1], ชาญยุทธ์ อรุณสวัสดิ์[1], และ ลิขิต ศรีพราหมณ์[1]

Pongphol Rakkanrane[1,]*, Panusak Moonsri [1], Chanyoot Arunsawat[1] and Likhit Sriphram [1]

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน , คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม , มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ต.นาวุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000

[1]Division of Energy Engineering, Faculty of Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University 38 Mu.8 Nawung Phetchaburi 76000

Corresponding Author: pongphol.r@gmail.com , Telephone and Fax Number 032-414455

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ครีบระบายความร้อนอลูมิเนียมที่มีความหนา 1 mm ทดลองกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกผสม ขนาด 300 w โดยเปรียบเทียบปริมาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดครีบระบายความร้อนอลูมิเนียมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ติดครีบระบายความร้อนอลูมิเนียม จากการศึกษาพบว่าเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งครีบระบายความร้อนอลูมิเนียม อุณหภูมิที่สะสมอยู่ภายในจะถูกระบายออกมาโดยใช้ครีบระบายความร้อน โดยอลูมิเนียมมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 237 W/mK และในแผงเซลล์อาทิตย์ที่ไม่ได้ติดครีบระบายความร้อนมีพลาสติกกั้นอยู่ โดยพลาสติกนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ที่ 0.52 W/mK ทำให้เกิดการสะสมความร้อนในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ติดครีบระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 42.7°C และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดครีบระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 39.7°C โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแล้วกำลังไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดครีบระบายความร้อนเฉลี่ย 129.8 W และกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ติดครีบระบายความร้อนเฉลี่ย 115.5 W โดยประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบและการลดลงของอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

The main objective of this research was to study a reducing of photovoltaic (PV) temperature. The aluminum fins has 1 mm of thickness which was installed on 300 W poly styrene type. The performance of PV mounted aluminum fins and non-aluminum fins were compared. The temperature accumulated inside will be discharged by the cooling fins with a coefficient of thermal conductivity 237 W/mK but the solar panels are not attached to the cooling fins with a plastic barrier. The plastic has a coefficient of thermal conductivity of 0.52 W/mK causes the accumulation of heat in the temperature of photovoltaic solar panels that are not ventilated temperature and average temperature of 42.7°C. Solar cooling fins temperatures average 39.7°C. The increasing rate of average power and power solar panels are 129.8 W of mounted cooling fins. The average power output of PV without fin is 115.5 W. The average efficiency of PV will increase that the temperature of the PV reduce the power consumption will increase.

คำหลัก : เซลล์แสงอาทิตย์/ การลดอุณหภูมิ/ ครีบระบายความร้อน

KEYWORDS: solar cell/ Reducing Temperature / fins

1. บทนำ

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานแก่โลกในรูปความร้อนและแสงสว่าง สิ่งที่มีชีวิต เช่น คน พืช และสัตว์ ใช้พลังงานเหล่านี้โดยตรง เช่น พืชใช้แสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์เพื่อให้เจริญเติบโต คนใช้แสงอาทิตย์ช่วยในการถนอมอาหาร พลังงานแสงอาทิตย์ถูกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานเคมีสะสมอยู่ บางส่วนก็ถูกใช้ทันที บางส่วนจะถูกเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ดวงอาทิตย์ยังเผาน้ำทะเลในมหาสมุทรและในแม่น้ำลำคลอง ให้กลายเป็นไอลอยสูงขึ้นไปในอากาศ ไอน้ำนี้จับกลุ่มรวมกันเป็นเมฆเมื่อเมฆเย็นลงจะจับตัวเป็นหยดน้ำ

แล้วตกลงมาเป็นฝน ฝนทำให้เกิดลำธาร แม่น้ำ และทะเลสาบ พลังงานแสงอาทิตย์มีผลโดยตรงกลับโลก พลังงานที่ได้นั้นเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้มีการพัฒนานำแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกมาใช้ประโยชน์ทั้งในด้านความร้อนและกระแสไฟฟ้าที่คอยอำนวยความสะดวกสบายในชีวิตประจำวันของมนุษย์ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความยั่งยืนทางด้านพลังงาน แต่ เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์ แสงอาทิตย์หรือแผงโฟโตโวลตาอิก พบว่า เซลล์ แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดใน ช่วงเวลาที่มีแสงแดดมาก แต่เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณพื้นผิว รับแสงและสะสมอยู่ในโลหะที่ใช้ทำเป็นส่วนประกอบ ของโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเซลล์ แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นการผลติแรงดันไฟฟ้าจะมี ค่าลดลงมีผลทำให้ประสิทธิภาพการท างานของแผง เซลล์แสงอาทิตย์ลดลง (กฤษณพงศ์ กีรติกร, 2538) เมื่อมีแสงอาทิตย์ ตกกระทบเซลล์สุริยะ เซลล์สุริยะสามารถเปลี่ยน พลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้เพียง 12-15 % เท่านั้น พลังงานส่วนที่เหลือกว่า 85 % จะสะสมอยู่ใน รูปความร้อนบนแผงเซลล์ เมื่อเซลล์สุริยะมีอุณหภูมิ สูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะต่ำลง เป็นผลให้ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะที่ได้ น้อยกว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงสามารถผลติได้อย่างมาก (อนุสรณ์ แสงประจักษ์,2550)

โดยที่ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากเกิดความร้อนขึ้นที่ใต้แผง ขณะที่แผงรับแสงและทำปฏิกิริยาภายในแผง จึงทำให้ประสิทธิภาพที่ผลิตได้ลดลง อย่างไรก็ตามการนำเทคโนโลยีแสงอาทิตย์มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่บริเวณที่ใช้งานด้วย ในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการใช้ครีบระบายความร้อน ผลของการศึกษาถึงสมรรถนะและการออกแบบ ที่เหมาะสมของแผ่นครีบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเกิดการพา ความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนที่ผิวของแผ่นครีบ การศึกษาใช้วิธีเชิงตัวเลขแบบ 1 มิติ ซึ่งการนำ ความร้อน เกิดขึ้นเฉพาะในแนวความยาวของแผ่นครีบโดย ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของครีบคิดเป็นค่าเฉลี่ย (Skoplaki, E, et al, 2008) ,(Skoplaki, E. and Palyvos, J.A.,2009) โดยวัสดุที่ใช้ทำครีบระบายความร้อนนั้นควรมีค่าการนำความร้อนที่ดี กลไกการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนนั้นจะเกิดขึ้นกับวัสดุตัวกลางโดยที่การส่งผ่านความร้อนของกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของโมเลกุล ซึ่งจะเกิดขึ้นกับวัสดุตัวกลางหรือตัวนำความร้อนที่เป็นของแข็ง โดยจากปัญหาความร้อนที่สะสมภายในเซลล์แสงอาทิตย์นั้น สามารถที่จะประยุกต์ใช้ขอบอลูมิเนียมรูปตัวที ที่เป็นวัสดุที่ใช้ทำขอบฝ้าเพดาน ที่มีอยู่ทั่วไปและราคาถูกมาใช้เป็นครีบระบายความร้อนบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.วัตถุประสงค์ (Research Objectives)

ในการศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะใช้งาน และการใช้ครีบความร้อนซึ่งดัดแปลงจากขอบฝ้าเพดาน รูปทรงตัว ที ระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

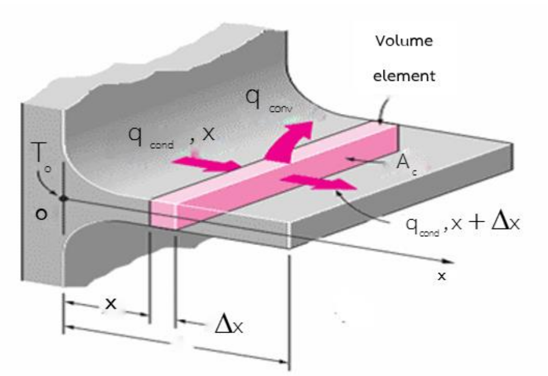
การถ่ายเทความร้อนจากครีบ(J.P.Holman.,2001) ปัญหาการถ่ายเทความร้อน มีสาเหตุจากเหตุจำกัดในการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และการและการมีพื้นที่จำกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน จากสมการที่1

$$q_{conv} = hA_S\left(T_S - T_\infty\right) \quad (1)$$

จะเห็นว่า วิธีหนึ่งที่จะเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนก็คือ การเพิ่มพื้น ที่ใช้ในการระบายความร้อน และวิธีการง่าย ๆ ที่จะเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ความร้อนก็คือ การติดโลหะแผ่นบางๆ เข้ากับผิวโลหะเดิมเพื่อเพิ่มพื้นที่ขึ้นแผ่นโลหะที่เพิ่มนี้ ต้องเสียความร้อนให้กับอากาศรอบๆ จึงมีอุณหภูมิไม่เท่ากับอุณหภูมิของผิวโลหะเดิม ดังนั้นการเพิ่มพื้นที่ขึ้น10 เท่าจึงไม่จำเป็นว่าการถ่ายเทความร้อนจะต้องเพิ่มขึ้น 10 เท่าด้วยความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นนี้ อยู่กับประสิทธิภาพของพื้นที่ดังกล่าว คือ การถ่ายเทความร้อนของการพา คือ อุณหภูมิที่ผิว และ คือ อุณหภูมิ

สิ่งแวดล้อม มีค่าคงที่ ดังนั้นจะสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ 2 วิธี คือ

- เพิ่ม Convection heat transfer coefficient (h) กรณีนี้อาจจะต้องมีการติดตั้งพัดลม หรือเพิ่มความเร็วของของไหล
- เพิ่มพื้นที่ผิวระบายความร้อน (Surface area,As) โดยการติดตั้งพื้นที่ผิวพิเศษเข้าไป ซึ่งเรียกว่า ครีบ (Fins) โดยปกติทำจากวัสดุที่นำความร้อนได้ดีเช่น Aluminum



รูปที่ 1 แผ่นครีบสี่เหลี่ยมผืนผ้าตรงซึ่งมีอากาศไหลผ่าน (J.P.Holman.,2001)

อัตราการถ่ายนำความร้อนในทิศทาง Δx = อัตราการถ่ายนำความร้อนในทิศทาง (x+ ΔT)+ อัตราการพาความร้อน ดังสมการที่ 2 และ 3

$$q_{cond,x} = q_{cond,x} + q_{conv} \qquad (2)$$

$$q_{conv} = h(p\Delta x)(T - T_{\infty}) \qquad (3)$$

จาก Fourier's law

$$q_{cond} = -kA_c \frac{dT}{dx} \qquad (4)$$

เมื่อ A_c is the cross-sectional area of the fin at location x.

แทนลงในสมการ ได้ดังสมการ2.14

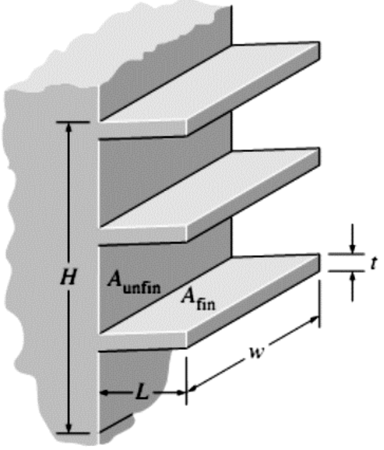
$$\frac{d}{dx} = (kA_c \frac{dT}{dx})hp(T - T_{\infty}) = 0 \qquad (5)$$

ประสิทธิภาพของครีบระบายความร้อน (Fin Efficiency) การใช้งานครีบระบายความร้อนจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบสมรรถนะของครีบระบายความร้อน โดยตัวที่กำหนดสมรรถนะของครีบระบายความร้อน ได้แก่ ประสิทธิภาพของครีบระบายความร้อน (Fin Efficiency) ประสิทธิภาพของครีบระบายความร้อน จากการวิเคราะห์ปัญหาทางความร้อนเพื่อหาค่าการกระจายอุณหภูมิของครีบระบายความร้อน เราจะพิจารณาเฉพาะครีบระบายความร้อนที่มีค่า Bi ต่ำ การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดและตลอดระยะทางจากฐานครีบระบาย ความร้อนประสิทธิภาพของครีบ คือ อัตราส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อนจากครีบจริงและจากครีบที่มีประสิทธิภาพ 100 % คือ ครีบที่มีอุณหภูมิเท่ากับโลหะเดิมทุกประการ (ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ และคณะ. ,2556) ดังสมการที่ 6 และ 7

$$q_{total,fin} = q_{unfin} + q_{fin} \qquad (6)$$

$$hA_{unfin(T_b - T_{\infty})} + \eta_{fin} hA_{unfin(T_b - T_{\infty})} \qquad (7)$$

ซึ่งโดยทั่วไปแผ่นครีบโดยทั่วไปมักเป็นแผ่นครีบสี่เหลี่ยมผืนผ้าตรงเนื่องจากมีข้อดีหลายประการเช่น ง่ายต่อการขึ้นรูปในขบวนการผลิต มีความแข็งแรงทนทานและราคาถูก มีมีผลการศึกษาจำนวนมากที่ศึกษาถึงการถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นครีบด้วยวิธีการทดลอง (I.Md. Didarul, et al, 2007) , (C.K. Yu and D.C. Lu,2007) และ(M.-Y. Wen and C.-Y. Ho,2009) ซึ่งพบว่าครีบแบบสี่เหลี่ยมสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี เพราะมีพื้นที่หน้าสัมผัสมากซึ่งมีส่วนช่วยในการถ่ายเทความร้อนได้ และอลูมิเนียมก็เป็นตัวนำความร้อนที่ดีเยี่ยม และนำความร้อนได้ดีกว่าเหล็กถึงสามเท่า ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้อลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีความสำคัญกับทั้งงานที่ใช้ความเย็น และความร้อน เช่น ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (heat-exchangers) อีกทั้งอลูมิเนียมยังมีน้ำหนักเพียง 1 ใน 3เท่า ของเหล็ก และ ทองแดง ทำให้มันเป็นโลหะในเชิงพาณิชที่มีน้ำหนักเบาที่สุด

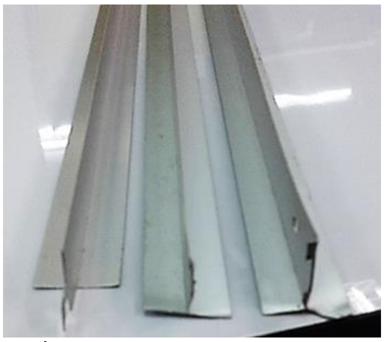


รูปที่ 2 พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (J.P.Holman.,2001)

4.วิธีการวิจัย (Research Methodology)

ในการศึกษาวิจัยการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ครีบระบายความร้อนอลูมิเนียมที่ค่าการสัมประสิทธิ์นำความร้อน 237 W/mK โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.ติดตั้งครีบระบายความร้อนอลูมิเนียมใต้เซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วัสดุผสานระหว่างแผ่นอลูมิเนียมแบบผืนผ้ารูปตัวที กับเซลล์แสงอาทิตย์ วัสดุผสานใช้ ซิลิโคลฮีทซิงค์เป็นตัวยึดติดและนำความร้อนมาที่ครีบระบายความร้อน มีระยะห่างกันของครีบ 1นิ้ว และครีบสูงจากพื้น 1นิ้ว หนา 1มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ครีบระบายความร้อนอลูมิเนียม

โดยมีการติดตั้งที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 W ชนิด Poly crystalline และที่ติดครีบระบายความร้อนอลูมิเนียมดังรูปที่ 4

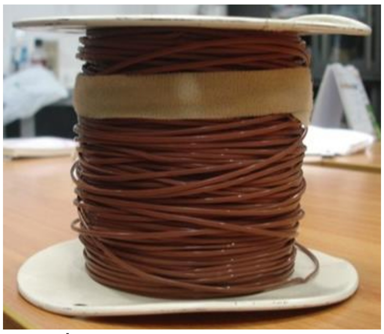
รูปที่ 4 เซลล์แสงอาทิตย์ติดครีบระบายความร้อน

2. ในการวัดค่าการทดลองและเก็บผลการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลองนั้นมีการเก็บค่ารังสีอาทิตย์ เก็บค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เช่น เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) KIPP and ZONENHOLLAND ชนิด CM 11 (ค่า Sensitivity = 5.191×10^{-6} V/Wm^{-2}) ใช้วัดความเข้มของรังสีอาทิตย์ แล้วส่งสัญญาณไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์

3.การวัดอุณหภูมิที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้อุปกรณ์ในการวัดความร้อนที่ระบายออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (นิคม ฟิ่งดำ และคณะ,2551) โดยติดตั้งทั้งแบบติดครีบระบายความร้อนและแบบไม่ติดครีบระบายความร้อนใช้สายเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 6 ในการทดลองเป็นชนิด K ค่าความแม่นยำ (Accuracy) 0.5 °C ใช้ในการวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -200 °C

ถึง 1,350 °C แล้วส่งค่าที่ได้ไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Sensitivity 41 μV/ °C) ดังรูปที่ 6



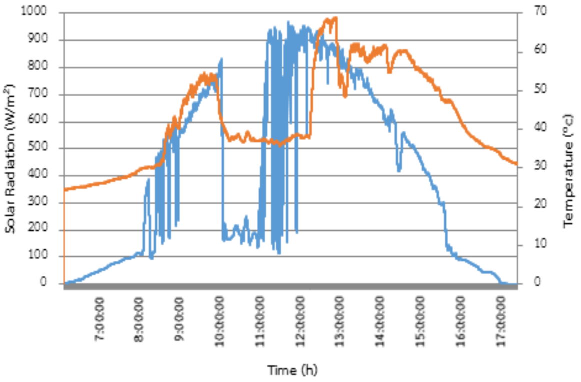
รูปที่ 6.สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

4.การเก็บข้อมูลอุณหภูมิและไฟฟ้าที่จากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้อุปกรณ์Datalogger Omron Portable multi loggerfy ดังรูปที่7 Datalogger เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูล และบันทึกข้อมูลในรูปสัญญาณชนิดต่างๆ โดยมี Sensor รับค่าในรูปของ analog และส่งผ่านเครื่องแปลงสัญญาณ (Signal converter) ให้กลายเป็น digital (A/D) และนำไปเก็บใน memory ของ data logger เพื่อการนำไปใช้ต่อไป หรือนำมาแสดงผลบนหน้าปัดของ data logger หรือ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ ดังรูปที่ 7

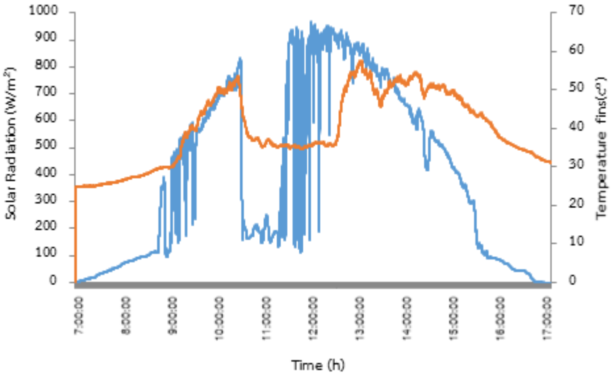
รูปที่ 7 Data logger Omron Portable multi logger

5. ผลการวิจัย (Results)

จากการทดลองการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ (Meral ME, Dincer F.,2011) โดยใช้ครีบระบายความร้อนอลูมิเนียม เก็บค่ารังสีอาทิตย์กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ติดครีบระบายความร้อนที่ทำการเก็บข้อมูลตลอดทั้งวันดังรูป

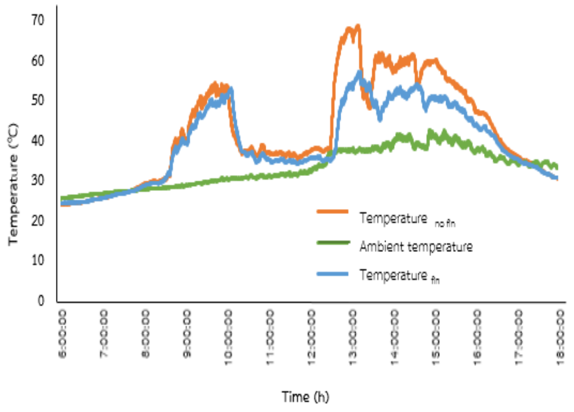


รูปที่8 แสดงความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบไม่มีครีบระบายความร้อน



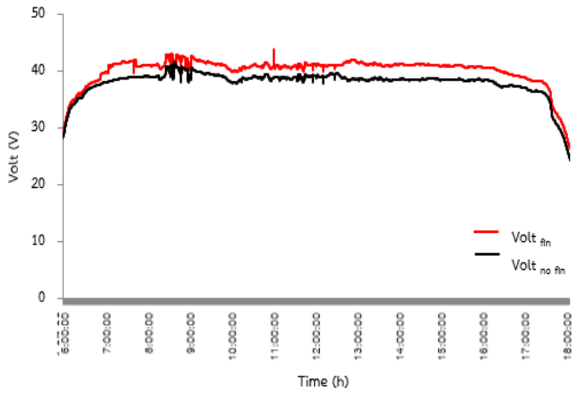
รูปที่9 แสดงความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบมีครีบระบายความร้อน

จากภาพที่ 8 และ9 แสดงความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่ติดครีบระบายความร้อน และติดครีบระบายความร้อน ตามลำดับ โดยเมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยจะมีการสะสมของความร้อนบริเวณใต้แผงของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่อุณหภูมิใต้แผงจะแปรผันตามปริมาณรังสีตกกระทบ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดครีบระบายความร้อน ความร้อนที่สะสมบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนและการพาความร้อน ทำให้อุณหภูมิบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงดังแสดงในรูปที่ 10



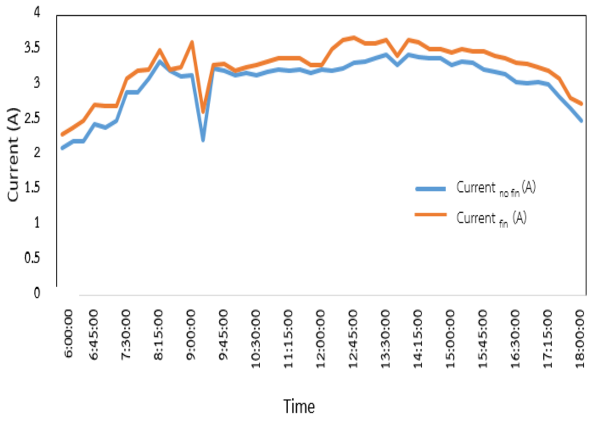
รูปที่10 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดครีบระบายความร้อนและแบบไม่มีครีบระบายความร้อนเมื่อเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อม

จากรูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดครีบระบายความร้อนและแบบไม่มีครีบระบายความร้อนเมื่อเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อม จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ไม่ติดครีบระบายความร้อนอุณหภูมิในช่วงเที่ยงวันจะมีอุณหภูมิสูง แต่แบบที่ติดครีบระบายความร้อนอุณหภูมิจะถูกพาความร้อนออกไป ทำให้อุณหภูมิลดลง ซึ่งโดยทั่วไป ความร้อนที่ถูกสะสมอยู่บริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับเซลล์แสงอาทิตย์นั้นนั้นลดลง และเมื่อทำการติดตั้งครีบระบายความร้อนบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าแรงดันไฟฟ้ามีอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้นโดยแปรผันตามช่วงเวลา ดังแสดงในรูปที่ 11



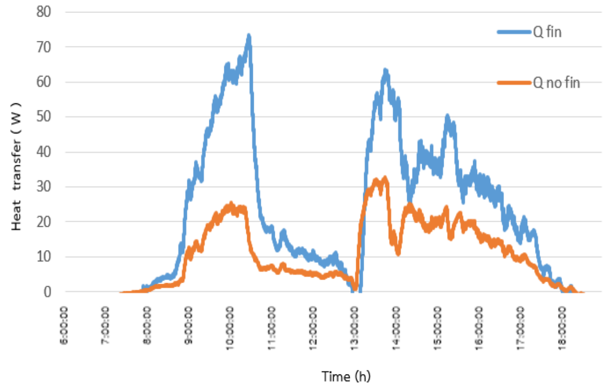
รูปที่11 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดครีบระบายความร้อนและแบบไม่ติดครีบระบายความร้อน

จากรูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดครีบระบายความร้อนและแบบไม่ติดครีบระบายความร้อน พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับรังสีอาทิตย์ มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อติดครีบระบายความร้อนบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นผลที่สืบเนื่องมาจากการความร้อนจากใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกถ่ายเทความร้อนออกไป และเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่มีปริมาณที่สูงขึ้น ดังแสดงดังรูปที่ 12



รูปที่12 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีครีบระบายความร้อน และแบบไม่มีครีบระบายความร้อน

จากรูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีครีบระบายความร้อน และแบบไม่มีครีบระบายความร้อน แต่ปัจจัยในการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ขณะเดียวกันมีการสะสมอุณหภูมิ ซึ่งครีบระบายความร้อนจะทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากเซลล์แสงอาทิตย์จึงทำให้กระแสไฟฟ้าที่ได้เพิ่มมากขึ้น โดยที่ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการนำความร้อนและการพาความร้อนนั้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 13



รูปที่13 ความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีครีบระบายความร้อนและแบบไม่มีครีบระบายความร้อน

จากรูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีครีบระบายความร้อนและแบบไม่มีครีบระบายความร้อน พบว่าการถ่ายเทความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีครีบระบายความร้อนและแบบไม่มีครีบระบายความร้อน จะเห็นได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีครีบระบายความร้อนเนื่องจากความร้อนถูกนำออกมาโดยครีบอลูมิเนียมที่นำความร้อนได้ดี แต่ต่างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ได้ติดครีบระบายความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนจึงต่ำกว่ามาก เพราะด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นวัสดุพลาสติก ที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้า จึงทำให้ความร้อนถ่ายทออกมาได้ไม่เท่าแผ่นครีบอลูมิเนียม

6. สรุป (Result)

จากการศึกษาการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยติดครีบระบายความร้อนอลูมิเนียม เปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดครีบระบายความร้อนอลูมิเนียมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ติดครีบระบายความร้อนอลูมิเนียม ในการวิจัยครั้งนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผ่นครีบระบายความร้อนโดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 19.86 W และ อัตราการถ่ายเทความร้อนของพื้นที่ที่ไม่มีครีบระบายความร้อน โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 9.58 W กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ติดครีบระบายความร้อน โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 115.5 W กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดครีบระบายความร้อน โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 129.8 W กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ติดครีบระบายความร้อนโดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 5.2 A กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครีบระบายความร้อนอลูมิเนียมโดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 5.7 A แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดครีบระบายความร้อนโดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 40.12 V แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ติดครีบระบายความร้อน โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 38.03 V อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดครีบระบายความร้อน โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 39.61°Cอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ติดครีบระบาย ความร้อน โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 42.75°C ประสิทธิภาพสูงสุดของครีบระบายความร้อนโดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 91% ประสิทธิภาพสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีครีบระบายความร้อนที่เพิ่มจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีครีบระบายความร้อน โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 12.57% จะเห็นได้ว่าเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งครีบระบายความร้อน อุณหภูมิที่สะสมอยู่ภายในจะถูกนำออกมาโดยใช้ครีบระบายความร้อน โดยอลูมิเนียมที่มีค่าการนำความร้อน อยู่ที่ 237 W/mK แต่ในแผงเซลล์อาทิตย์ที่ไม่ได้ติดครีบระบายความร้อนมีพลาสติกกั้นอยู่ โดยพลาสติกนั้น มีค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.14-0.52 W/mK ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นต่อเมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น

7. อภิปรายผล (Discussion)

จากการทดลองทำให้ทราบว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความร้อนที่เกิดขึ้นใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสภาพภูมิอากาศในแต่ละฤดูกาล ที่ทำให้ค่ารังสีอาทิตย์ไม่เท่ากัน และในการลดอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นทำให้รู้ว่าถ้าอุณหภูมิใต้แผงต่ำแรงดันไฟฟ้าจะสูงขึ้น และในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิใต้แผงสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าจะลดลงและถ้าสามารถนำความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกได้จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการระบายความร้อนด้วยอากาศนั้นก็สามารถที่จะช่วยในการถ่ายเทความร้อนที่สะสมออกจากบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่อากาศนั้นยังมีสัดส่วนในการดึงความร้อนน้อยกว่าน้ำ จึงควรหาแนวทางการใช้น้ำในการระบายความร้อนจากใต้แผงเซลล์

แสงอาทิตย์เพื่อจะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากขึ้นอีกด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgment)

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ หน่วยวิจัยและประยุกต์พลังงานทดแทน สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้การส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง (Reference)

กฤษณพงศ์ กีรติกร. (2538). **รังสีดวงอาทิตย์.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อนุสรณ์ แสงประจักษ์. (2550). **อิทธิพลของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูงมากต่อค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตในประเทศไทย**. รายงาน การวิจัย (หน้า 100-118) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

Skoplaki, E., Boudouvis, A.G. and Palyvos, J.A. A.(2008).Simple correlation for the operating temperature of Photovoltaic modules of arbitrary mounting. ***Solar Energy Materials & Solar Cells***, ; 92: 1393– 1402.

Skoplaki, E. and Palyvos, J.A.(2009) Operating temperature of Photovoltaic modules: A survey of pertinent Correlations. ***Renewable Energy*** ; 34: 23–29.

J.P.Holman.(2001) . **Heat Transfer .** New York : McGRAW-HILL,INC. Books.

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ และคณะ. (2556). การเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อจัตุรัสด้วยการใส่ครีบบาง. **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 9** : 150-156

I.Md. Didarul, O. Kenyu, Y. Minoru, and S. Izuru,(2007)“Study on heat transfer and fluid flowcharacteristics with short rectangular plate fin ofdifferent pattern,” **Experiment Thermal and Fluid Science**, vol. 31, pp. 367-379,

C.K. Yu and D.C. Lu,(2007) “Pool boiling heat transfer on horizontal rectangular fin array in saturated FC-72,” **International Journal of Heat and Mass Transfer**, vol. 50, pp. 3624-3637.

M.-Y. Wen and C.-Y. Ho,(2009) “Heat-transfer enhancement in fin-and-tube heat exchanger with improved fin design,” **Applied Thermal Engineering**, vol. 29, pp. 1050-1057.

นิคม ฟิ่งดำ และคณะ. (2551). **การเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบหล่อเย็น**. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณปีที่11 ฉบับที่2

Meral ME, Dincer F.(2011). A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**.;15:2176-2184.

การจำลองระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าด้วยมอเตอร์กระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยอัตราส่วนความเร็วปลายใบ

The Wind Turbine Emulator with DC Motor and DC Generator with Maximum Power Point Control with a Tip Speed Ratio

ทรงวุฒิ รัศมี ทศพร บัวอินทร์ เพลิน จันทร์สุยะและนพพร พัชรประกิติ*

Songwut Ratsamee Tossaporn Buaains, Phlearn Jansuyu and Nopporn Patcharaprakiti*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย
99 หมู่ที่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120 โทรศัพท์ 05372 3979
*E-mail pnopporn@rmutl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 083-009-4349

บทคัดย่อ

บทความนำเสนอการออกแบบและสร้างวงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมที่มีการควบคุมประสิทธิภาพด้วยอัตราส่วนความเร็วทิป เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบกำลังงานที่เกิดขึ้นจากการทดสอบด้วย นำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 1 กิโลวัตต์ มาทำเป็น เหมือนกังหันลมด้วย อ้างอิง ที่ได้มาจากค่าแรงบิดทางกลของแบบจำลองกังหันลมที่ที่สร้างขึ้นมา การทำงานเหมือนกับกังหันลมจริงขนาดพิกัด 1 กิโลวัตต์ ที่มีค่าความเร็วรอบ 2055 รอบต่อนาที รัศมีใบพัด 0.8 เมตร และที่ค่าความเร็วลมที่ 12 เมตรต่อนาทีส่วนนี้จะถูกต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 800 วัตต์ เงื่อนไขการทดสอบได้ทำการปรับความเร็วรอบจากมอเตอร์กระแสไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกเพื่อมาขับ เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกด้วยการปรับตั้งโหลดที่ 100 เปอร์เซ็นของเครื่องกำเนิด ที่ความเร็วรอบ 4 เมตรต่อนาที , 7 เมตรต่อนาที, 10 เมตรต่อนาที และ 12 เมตรต่อนาที และทำการปรับ อัตราสวิตซ์ ที่ 0 - 100 เปอร์เซ็นต์ของสวิทช์วงจรแปรผันกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงควบคุมชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกด้วยมีการต่อโหลดที่พิกัดของเครื่องกำเนิด และมีการของบันทึกค่าพารามิเตอร์จากการทดสอบ นำวิเคราะห์การทำงานของระบบ ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถปรับ อัตราสวิตซ์ ให้ทำงานที่ตำแหน่งอัตราเร็วทิปสูงสุด ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ (Cp) สูงสุดในแต่ละย่านความเร็ว เพื่อให้ได้รับกำลังไฟฟ้าสูงสุดและมีประสิทธิภาพสูงสุดได้

Abstract

This paper proposes a converter design and construction of wind turbines electric generator for increase energy efficiency by tip speed ratio technique. In order to study and compare power and energy efficiency from wind generator, a 1000 W DC motor is used to be prime-over instead of wind generator by determine torque and speed at rated 0-2055 rpm, blade radius 0.8 m and wind velocity at 0-12 m/s to drive DC generator 800 W. The two converters are designed and constructed to control field and armature of DC generator by adjust อัตราสวิตซ์ from 0-100%. The experiment is implemented by vary speed of DC motor which work as wind generator at 4 m/s, 7 m/s, 10 m/s, 12 m/s to drive DC generator with supply power to load at 100% of DC generator rate. The power, energy and tip speed ratio from experimental are recorded. The result found that generator is operated closely to tip speed ratio maximum power point which increase efficiency of wind Turbine.

คำหลัก : กังหันลม, การจำลอง, คอนเวอร์เตอร์ , การควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด, อัตราส่วนความเร็วทิป

Keywords : Wind turbine, Emulator, Converter , MPPT, Tip speed ratio

1. บทนำ

พลังงานลม เป็นพลังงานทดแทนที่ได้จากพลังงานลม การนำพลังงานลมมาใช้จะอาศัย หลักการเปลี่ยนรูปพลังงานจลน์ในกระแสลมไปเป็นพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้าตามลำดับ ซึ่งประเทศไทยมีศักยภาพในการนำลมมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า [1]-[2] และนำไปเชื่อมกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยกังหันลมสมารถแบ่งตามลักษณะ [3] การทำงานได้เป็นสองชนิดคือ กังหันลมแนวตั้งและกังหันลมแนวนอน และหากแบ่งทำงานด้วยความเร็ว แบ่งออกได้เป็นความเร็วคงที่ (Fixed Speed Wind Turbine) และกังหันลมที่ทำงานด้วยความเร็วที่เปลี่ยนแปลง (Variable Speed Wind Turbine) โดยชนิดเครื่องกำเนิดที่นิยมใช้กังหันลม คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร [3] เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในการพัฒนากังหันลมนั้น การควบคุมคุณภาพไฟฟ้าและประสิทธิภาพเพื่อให้ได้พลังงานสูงสุดอยู่ตลอดเวลาเป็นสิ่งสำคัญ โดยการควบคุมที่นิยมใช้กันมาก คือ Doubly Fed Induction Generator [4] โดยควบคุมขดลวดสนามที่สเตเตอร์ เพื่อปรับความเร็วรอบและขดลวดอาเมเจอร์ที่โรเตอร์ของกังหันลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งควบคุมได้ง่ายไม่ซับซ้อน สำหรับการควบคุมประสิทธิภาพ แนวทางที่นิยมใช้ คือ การตรวจติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือการควบคุมความเร็วปลายใบให้มีความเหมาะสมกับความเร็วลมที่เรียกว่า Tip Speed Ratio ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีแตกต่างกันไปตามโครงสร้างการควบคุมกังหันลมและเทคนิค [5-7] และในการทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพของกังหัน สามารถทำได้โดยใช้อุโมงค์ลม สร้างลมจำลองเพื่อใช้สำหรับการทดสอบใบพัด และในส่วนของการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้านิยมใช้เครื่องจำลองกังหันลม ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีเช่นการสร้างแบบจำลองกังหันลมด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC [8]-[10] ได้นำเสนอวงจรช็อปเปอร์สำหรับควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้จำลองการทำงานเสมือนใบพัดกังหันลมตามคุณลักษณะของลมจริง ซึ่งเป็นแบบการจำลองที่นิยม [11-13] สำหรับในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดจำลองการทำงานของกังหันลมโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกควบคุมพฤติกรรมการหมุนให้มีลักษณะเหมือนลมด้วยคอนเวอร์เตอร์ปรับขดลวดสนามแม่เหล็กเพื่อปรับความเร็วรอบโรเตอร์ และใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับผลิตไฟฟ้าที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการควบคุมความเร็วปลายใบ หรือ Tip Speed Ratio เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ Cp ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

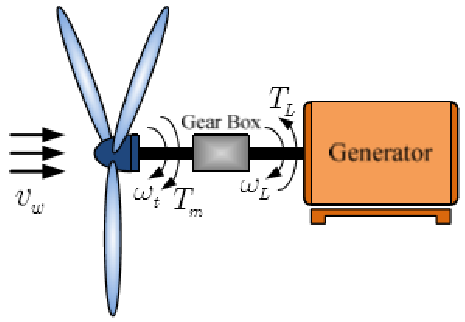
2.วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างวงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงของระบบไฟฟ้าด้วยกังหันลมที่มีการควบคุมประสิทธิภาพด้วยอัตราส่วนความเร็วทิป และค่าสัมประสิทธิ์กังหันลม และศึกษาพฤติกรรมของ กระแสและแรงดันในแต่ละช่วงผลการทบสอบพบว่า ความเร็วรอบและ เปอร์เซ็นต์ของ อัตราสวิตซ์มีผลต่อ กำลังงานด้านอาเมเจอร์ของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกที่เปลี่ยนแปลงตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกที่สามารถควบคุมพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์กังหันลมให้ได้กำลังและประสิทธิภาพสูงสุด

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า

หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน [5] พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะ ทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบดังแสดงในรูปที่ 1 โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของกังหันลม

กำลังทางกลในตัวโรเตอร์ของเครื่องจำลองการทำงานของกังหันลม นำการวิเคราะห์สมการกำลังทางกลของกังหันลมโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งกำลังทางกลกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ [10],[12]

$$P_m = \frac{1}{2}\pi r^2 \rho v_w^3 C_p(\lambda,\beta) \qquad (1)$$

เมื่อ P_m คือ กำลังทางกลที่เกิดขึ้นบนกังหันลม (วัตต์)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นอากาศมีค่าประมาณ 1.22 (กิโลกรัม/เมตร)

r คือ รัศมีของใบพัด (เมตร)

v_w คือ ค่าความเร็วลม (เมตร/วินาที)

$C_p = (\lambda,\beta)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าของกังหันลม

λ คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบพัด (เมตร/วินาที) ต่อความเร็วลม (เมตร/วินาที)

β คือ มุมบิดของใบพัด องศา

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานไฟฟ้าของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบพัดและมุมบิดของใบพัดดังสมการ

$$C_p(\lambda,\beta) = c_1\left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3\beta - c_4\right)e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6\lambda \qquad (2)$$

กำหนดให้

$c_1 = 0.5176, c_2 = 116, c_3 = 0.4, c_4 = 5, c_5 = 21$

และ $c_6 = 0.0068$ [11] ตามลำดับและความสัมพันธ์ของ λ_i จะขึ้นอยู่กับ

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \qquad (3)$$

จากสมการ (2.1) ค่าสัมประสิทธิ์กำลังฟ้า C_p จะขึ้นอยู่กับการออกแบบลักษณะตัวใบพัดของกังหันลมโดยที่จะถูกกำหนดได้จากค่าอัตราความเร็วเสริม λ กับความเร็วรอบของตัวกังหันลม ω_t (Rotational speed of the wind turbine) และรัศมีใบพัดกับค่าความเร็วลม จากสมการ (4)

$$\lambda = \frac{\omega R}{v_w} \qquad (4)$$

ในส่วนของแรงบิดทางกล T_m ที่สร้างขึ้นนั้น จะพิจารณาได้จากกำลังทางกลในสมการ (2.1) ซึ่งสามารถนำมาอธิบายแรงบิดทางกล T_m ของกังหันลมในเทอมของประสิทธิ์แรงบิด C_t (Torque coefficient) ได้คือ

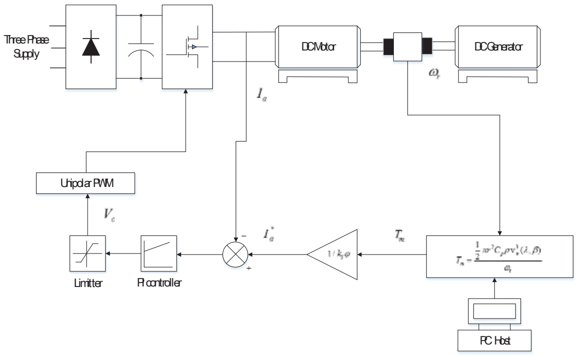
$$T_m = \frac{P_m}{\omega_t} = \frac{1}{2}\pi r^2 \rho v_w^3 C_t(\lambda,\beta) \qquad (5)$$

เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด C_t และค่า สัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า C_p สามารถแสดงได้จาก

$$C_p(\lambda,\beta) = \frac{P_m}{\frac{\pi}{2}\rho r^2 v_w^3} = \frac{\omega_t r}{v_w} C_t(\lambda,\beta) = \lambda C_t(\lambda,\beta) \qquad (6)$$

3.2 การออกแบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

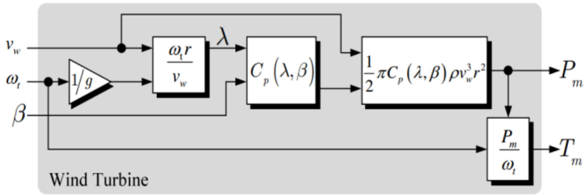
3.2.1 ไดอะแกรมการจำลองการทำงานของกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่



รูปที่ 2 โครงสร้างของเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่โดยใช้ระบบขับมอเตอร์กระแสตรง

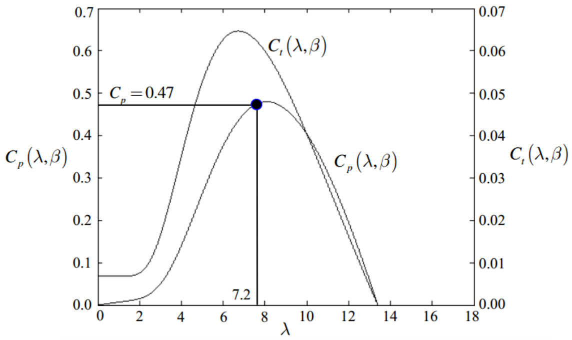
การออกแบบจำลองเครื่องลองกังหันลมแสดงให้เห็นถึงการแทนค่าในบล็อกไดอะแกรมของลักษณะกังหันลม การป้อนค่าสัมประสิทธิ์กำลังกังหันลมตามสมการ (2)

และ(3) ความเร็วลม, ความเร็วโรเตอร์และ ค่ามุมบิดของใบพัด เอาท์พุทเป็นพลังงานกลและแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมแบบจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่

ความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์กำลังและอัตราความเร็วเสริม λ จะเห็นได้ว่าที่มุมบิดใบพัดที่ $\beta = 0$ จะให้กำลังงานมากที่สุด เมื่อกำหนดให้เครื่องจำลองกังหันลมมีพิกัดความเร็วรอบ 2055 รอบต่อนาทีจะสามารถหาอัตราเร็วเสริมได้ 7.2 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ 0.47 ดังแสดงในรูปที่ 4



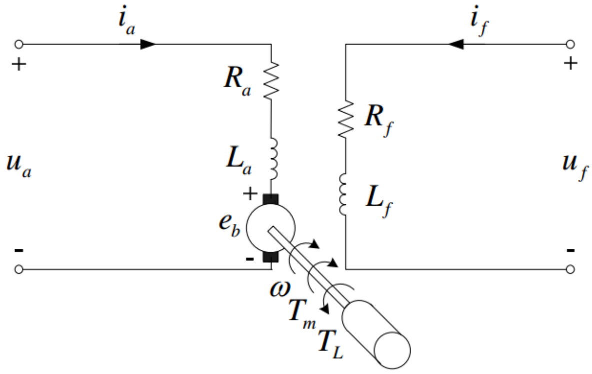
รูปที่ 4 ผลการจำลองระหว่างอัตราความเร็วเสริม λ กับค่า $C_p(\lambda,\beta)$ และ $C_t(\lambda,\beta)$

3.2.2 ระบบขับมอเตอร์กระแสตรงและการควบคุมการทำงานของชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแยก

ในส่วนระบบขับมอเตอร์กระแสตรงและการควบคุมเพื่อควบคุมให้มอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกทำงานเป็นเครื่องจำลองกันหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ไปขับตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกเพื่อจำลองความเร็วลมเพื่อให้สามารถรู้ถึงว่าความเร็วแต่ละความเร็วลมสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดด้วยมีการควบคุมด้วยการกระตุ้นชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดเพื่อให้ได้กำลังงานที่เหมาะสมของแต่ละความเร็วลม

3.2.3 การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกจะมีสนามแม่เหล็กอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่บนสเตเตอร์และส่วนที่อยู่บนอาร์เมเจอร์โดยสนามแม่เหล็กที่อยู่บนสเตเตอร์นั้นเกิดจากการจ่ายไฟด้วยแหล่งจ่ายแรงดันตรงชุดสนามแม่เหล็ก u_f ทำให้เกิดกระแสฟิลด์ i_f ไหลเข้าไปในขดลวดเกิดขั้วแม่เหล็กเหนือ ใต้ขึ้นบนสเตเตอร์สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรสมมูลของมอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

3.2.4 สมการอนุพันธ์ของวงจรอาร์เมเจอร์

วงจรอาร์เมเจอร์

$$u_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b \qquad (7)$$

วงจรสร้างแม่เหล็กหลัก

$$u_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \qquad (8)$$

เมื่อ R_a คือ ความต้านทานในขดลวด

L_a คือ ความเหนี่ยวนำในขดลวดอาร์เมเจอร์

e_b คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ

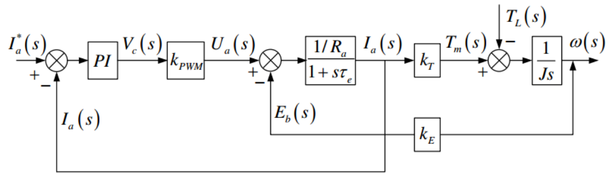
R_f คือ ความต้านในขดลวดสมานแม่เหล็กหลัก

L_f คือ ความเหนี่ยวนำในขดลวดสมานแม่เหล็กหลัก

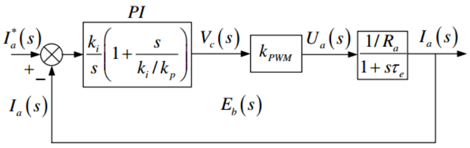
3.2.5 ระบบควบคุมกระแสและการออกแบบ [14]

ตัวควบคุมกระแสตรงอ้างอิงจะมาจากคำนวณแรงบิดของแบบจำลองกังหันลมชนิดใบพัดคงที่โดยค่ากระแสตรงอ้างอิงจะเปรียบเทียบกับค่ากระแสตรงจริงของมอเตอร์แรงดันตรงแบบกระตุ้นแยกเพื่อส่งค่าความผิดพลาดไปยังตัวควบคุม กระแสแบบไอไปควบคุมแรงแรงดันตรงที่ชุดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรงให้

ทำงานจนไม่มีค่าความแตกต่างระหว่างกระแสอ้างอิงกับกระแสจริง จากรูปที่ 6 (ก) สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันโอนย้ายการควบคุมลูปกระแสของมอเตอร์แรงดันตรงแบบกระตุ้นแยก และสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันโอนย้ายการควบคุมลูปกระแสเปิดได้ดังรูปที่ 6 (ข)



(ก)



รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันโอนย้ายการออกแบบตัวควบคุมกระแส

จากรูปที่ 7 สามารถหาฟังก์ชันโอนย้ายขณะลูปเปิดได้ดังนี้

$$G(s)=\frac{k_i}{s}\left[1+\frac{s}{k_i/k_p}\right]k_{PWM}\frac{1/R_a}{1+\frac{s}{1/\tau_e}} \quad (9)$$

สามารถที่จะใช้หลักการหักล้างของขั้วและศูนย์ (Pole-zero cancellation) โดยใช้ศูนย์ของตัวควบคุมไปหักล้างกับขั้วของระบบ ตัวนั้นจะได้

$$k_p=\tau_e k_i=\frac{L_a k_i}{R_a} \quad (10)$$

$$k_i=\frac{\omega_c R_a}{k_{PWM}} \quad (11)$$

เมื่อ k_{PWM} สามารถหาได้จากสมการที่ (12) ดังนั้นจะได้

$$k_{PWM}=\frac{V_d}{\hat{V}_{tri}}=\frac{300V}{1V}=300 \quad (12)$$

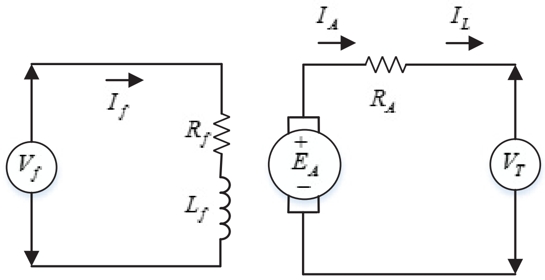
ดังนั้นสามารถหาอัตราขยายการปรับเชิงชัดสัดส่วน (k_p) และอัตราขยายการปรับตัวแบบอินทิเกรต (k_i) ได้ดังนี้ โดยกำหนด $\omega_c=1500rad/s$

$$k_i=\frac{\omega_c R_a}{k_{PWM}}=\frac{1500\times5.714}{300}=30 \quad (13)$$

$$k_p=\frac{L_a k_i}{R_a}=\frac{0.138\times30}{5.714}0.7 \quad (14)$$

เมื่อได้หลักการวิเคราะห์มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยทำการวิเคราะห์จากวงจรสมมูลตามต้องการเหมือนใบพัดมาขับเครื่องกำเนิดกระแสตรงเพื่อให้ได้แต่ละความเร็วลมเพื่อจะได้ทำตามทดลองแต่ละความเร็วลมเพื่อให้ได้กำลังทางด้านทางออกของเครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแยกเพื่อให้ได้ประสิทธิ์ภาพสูงสุด แต่ละความเร็วลมด้วยวิธีการควบคุมการไหลของกระแสขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดตาม อัตราสวิตซ์

3.3 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก



รูปที่ 7 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดกระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

3.3.1 สมการอนุพันธ์ของวงจรอาร์เมเจอร์

วงจรอาร์เมเจอร์

$$E_A=K\phi\omega(V) \quad (15)$$

$$I_L=I_A \quad (16)$$

$$V_T=E_A-I_A R_A \quad (17)$$

วงจรสร้างแม่เหล็กหลัก

$$I_f=\frac{V_f}{R_f} \quad (18)$$

เมื่อ R_a คือ ความต้านทานในขดลวด

L_a คือ ความเหนี่ยวนำในขดลวดอาร์เมเจอร์

E_A คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านอาร์เมเจอร์

R_f คือ ความต้านในขดลวดสมานแม่เหล็กหลัก

L_f คือ ความเหนี่ยวนำในขดลวดสมานแม่เหล็กหลัก

3.4 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ [4] เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่จ่ายกำลังได้สูง ในช่วง 200-1000 วัตต์ แต่มีข้อเสียคือมัก

เกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสช่วยลดปัญหานี้ลงได้ ดังนั้นพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับสวิตช์ชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังสูง โดยการทำงานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ปรียบเสมือนการนำฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์สองชุดมาทำงานร่วมกัน โดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟส ทำให้จ่ายกำลังได้สูง เพาเวอร์รานซิสเตอร์ในวงจรยังคงมีแรงดันตกคร่อมในขณะหยุดกระแสค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับฟลายแบคและฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ รวมทั้งปัญหาการเกิดฟลักซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรต์ของวงจรทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายง่าย พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์ และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีการทำงานคล้ายกัน แต่มีข้อบกพร่องน้อยกว่า วงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 10 จะคล้ายกับกรณีวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ที่ตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กจะไม่ใช่ตัวแปรที่ใช้ในการแบบ โดยที่หม้อแปลงไฟฟ้าจะกำหนดให้เป็นแบบอุดมคติ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์สวิตซ์ S_{w1} จะนำกระแสในขณะที่ S_{w2} จะไม่นำ

2.5.1 กรณีสวิตซ์ S_{w1} นำกระแสและสวิตซ์ S_{w2} ไมนำกระแส [7]

เมื่อสวิตซ์ S_{w1} นำกระแสจะเป็นผลทำให้มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ (P_1) เท่ากับ

$$V_{p1} = V_s \tag{19}$$

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ (P_1) จะถ่ายเทไปยังขดลวดอีก 3 ชุดที่เหลือดังนี้

$$V_{s1} = V_s\left(\frac{N_s}{N_p}\right) \tag{20}$$

$$V_{s2} = V_s\left(\frac{N_s}{N_p}\right) \tag{21}$$

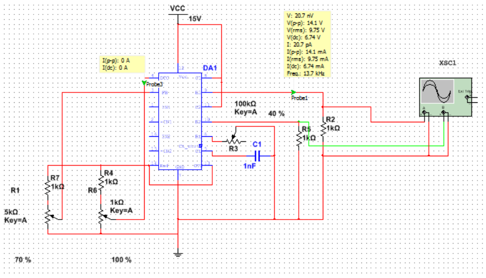
$$V_{sw2} = 2V_s \tag{22}$$

ไดโอด D_1 ได้รับไบอัสตรงขณะที่ไดโอด D_2 ได้รับไบอัสกลับ

$$V_X = V_{S2} = V_S\left(\frac{N_S}{N_p}\right) \tag{23}$$

$$V_{LX} = V_X - V_0 = V_s\left(\frac{N_s}{N_p}\right) - V_0 \tag{24}$$

3.4.1 วงจรเดดไทม์ (Dead time) ด้วย SG3524



รูปที่ 8 วงจรเดดไทม์ (Dead time Circuit)

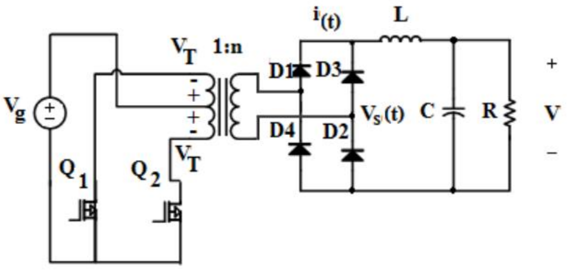
เมื่อ แรงดัน $V_{cc} = 12 - 15VDC$

แรงดัน $V_{rms} = 9.75V$ ที่ขับสวิทช์

กระแส $I_{rmp} = 9.75mA$

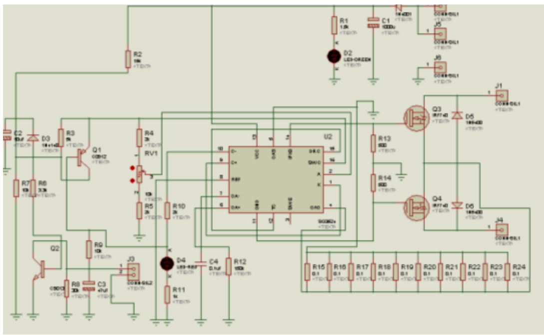
ความถี่ 13.7 KHz

วงจรเดดไทม์ถูกนำมาใช้ในวงจรเพื่อป้องกันไม่ให้มอสเฟสเพื่อป้องกันความเสียหายของมอสเฟสกำลัง เพราะว่าถ้าเมื่อใดที่มอสเฟสกำลังทำงานพร้อมกันจะส่งผลเกิดการลัดวงจรและยังเป็นชุดที่มีการแบ่งสัญญาณ พีดับบิวเอ็ม ออกเป็น 2 ซีก เป็นสัญญาณพีดับบิวเอ็ม ที่ตรงกันข้ามโดยในวงจรนี้จะมี อุปกรณ์หลักๆ อยู่ในตัว SG3524 และ ตัวต้านทานจะเป็นตัวปรับความถี่ซึ่งแสดงดังรูปที่ 9

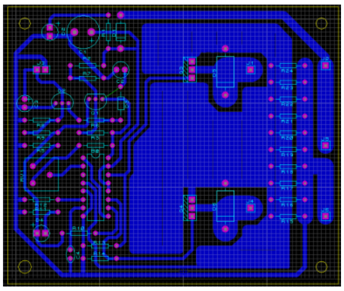


รูปที่ 9 วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

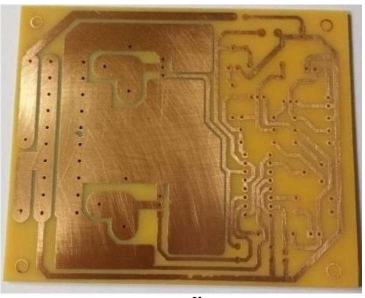
3.4.2 วงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงแบบ DC-AC-DC ชนิด Push-Pull ใช้งานจริง แสดงดังรูปที่ 10-14



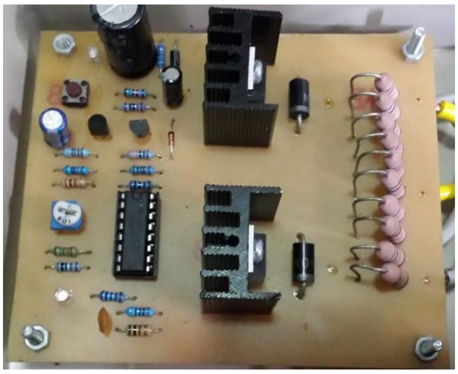
รูปที่ 10 วงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้า



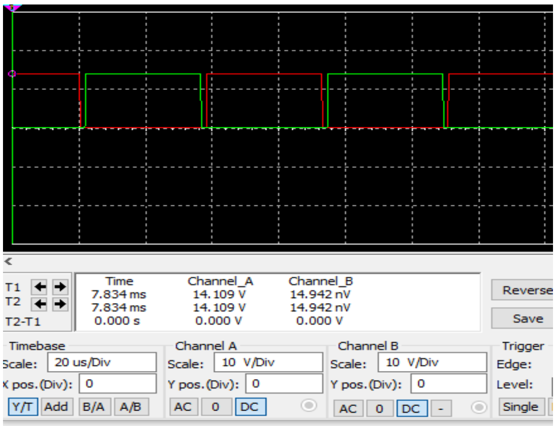
รูปที่ 11 ลายวงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 12 ลายวงจรแผ่นปริ้นวงจรแปลงผันกำลัง



รูปที่ 13 สร้างคอนเวอร์เตอร์จริงแบบ DC-AC-DC ชนิด Push-Pull ใช้ไอซี SG3524



รูปที่ 14 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตวงจรเดดไทม์

3.4.3 หม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 200VA ชนิดแกนเหล็ก EI

1. การหาพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

$$A = \frac{\sqrt{VA}}{5.58} \tag{25}$$

1.1 กำหนดแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า (Primary) = 9-CT-9 VAC

1.2 กำหนดแรงดันไฟฟ้าด้านขาออก (Secondary) = 220 VAC

2. นำ A มาคำนวณหาจำนวนรอบต่อโวลท์ได้จากสมการที่ 3.33

$$\frac{N}{V} = \frac{7.5}{A} \tag{26}$$

3. นำ $\frac{N}{V}$ มาหาจำนวนรอบที่จะพันหม้อแปลงทางด้าน Primary และ Secondary ดังนี้

3.1 จำนวนรอบด้าน Primary ดังสมการที่ 3.34

$$Primary = N_p = V_p \times \frac{N}{V} \tag{27}$$

3.2 จำนวนรอบด้าน Secondary ดังสมการที่ 3.35

$$Secondary = N_s = V_s \times \frac{N}{V} \tag{28}$$

4. การหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดแต่ละขดเพื่อนำไปเทียบกับตารางเพื่อหาขนาดของขดลวดทองแดง จากสมการ I=กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง/แรงดันไฟฟ้า

$$I_p = \frac{P}{V_p} \qquad (29)$$

$$I_s = \frac{P}{V_s} \qquad (30)$$

5. หาเซอร์คูลาร์มิลเพื่อเปิดตารางหาขนาดของเบอร์ขดลวดทองแดงจากสมการ

เซอร์คูลาร์มิล= $I \times 500$ (32)

ด้านไฟเข้า $= 5.55 \times 500 = 2775$

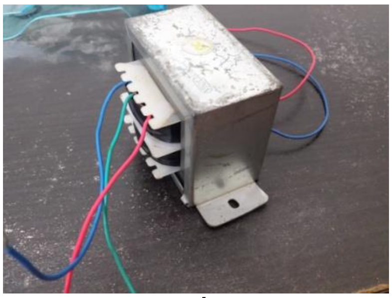
ด้านไฟขาออก $= 1.25 \times 500 = 625$

6. นำค่าเซอร์คูลาร์มิลมาเปิดตารางหาขนาดเบอร์ขดลวดทองแดงเพื่อใช้พันหม้อแปลง

ด้านไฟฟ้าขาเข้า 2775 = ลวดทองแดงเบอร์ 17#

ด้านไฟฟ้าขาออก 625 = ลวดทองแดงเบอร์ 23#

เมื่อได้หม้อแปลงไฟฟ้าตามที่ออกแบบแล้วดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 หม้อแปลงจริงที่ออกแบบมาใช้งานจริง

3.4.3 การออกแบบและสร้างวงจรแปรงผันกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงของระบบไฟฟ้าด้วยกังหันลม

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC-AC-DC ชนิด Push-Pull พิกัดแรงดัน 220VDC กำลังงาน 100W ใช้ไอซี SG3524 สร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตซ์ Mosfet IRF3205 เพื่อจ่ายให้หม้อแปลงไฟฟ้าผ่าน

ไดโอดบริดและจ่ายแรงดันให้สวิตซ์ Mosfet IRF740 ด้วยมี STM32F4 เป็นส่วนควบคุม อัตราสวิตซ์ ส่งสัญญาณ์ PWM ให้วงจรวงจรสวิตซ์กำลังด้วยออปโต้ 4N25 จะเป็นตัวส่งสัญญาให้สวิตซ์ควบคุม Mosfet IRF740 จ่ายกระแสไฟฟ้ากระตุ้นชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดตามอัตราสวิตซ์ เพื่อปรับเปลี่ยนของกำลังงานด้านขาออกเครื่องกำเนิดควบคุมประสิทธิภาพ และ พลังงาน ด้าน output เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

3.5 STM32F4 DISCOVERY Board and Waijung Blockset

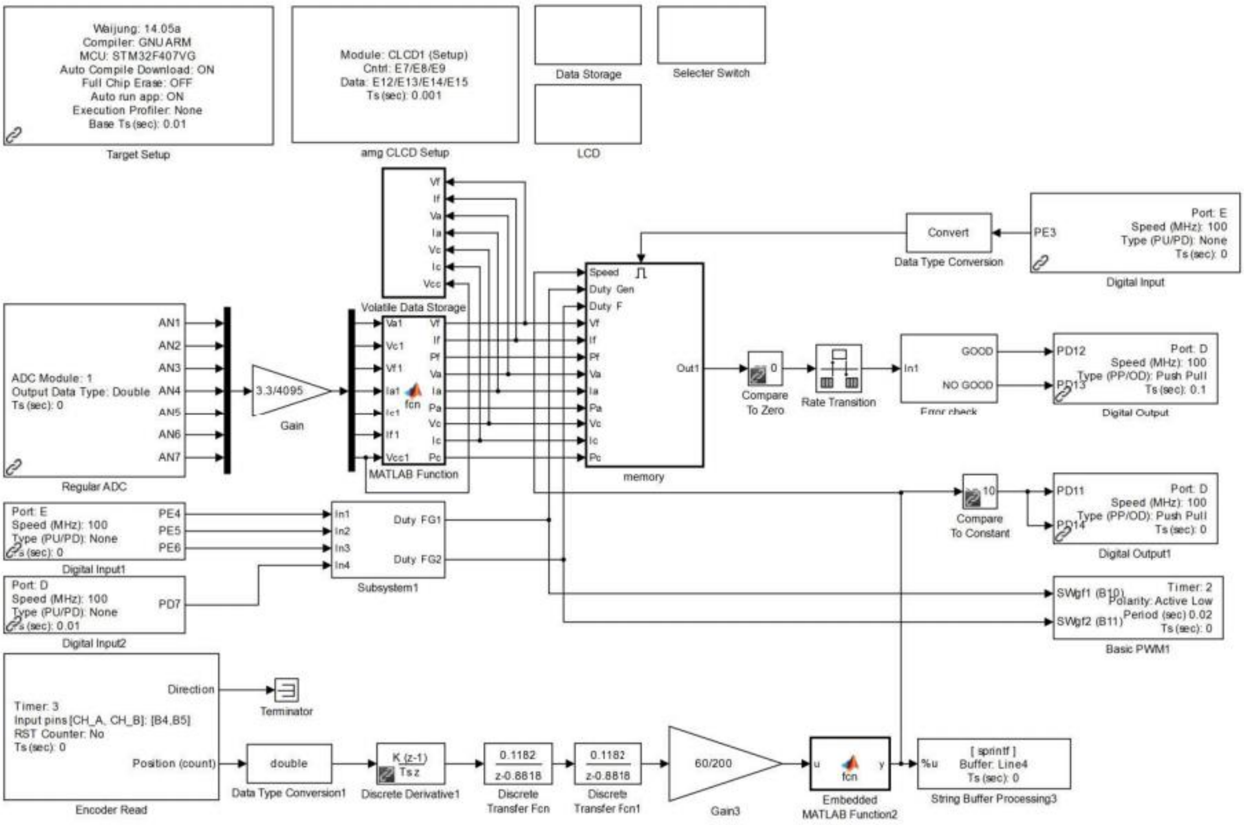
รูปที่ 16 บอร์ด STM32F4 DISCOVERY

3.5.1 คุณสมบัติหลักของบอร์ด STM32F4 DISCOVERY

- Built-in RapidSTM32 Native-Support Bootloader.
- ARM 32-bits Cortex – M4F core Processor (STM32F407VGT6)
- แรงดันภายในบอร์ด 3.3 V regulator up to 800 mA
- หน่วยความจำ 196 Kbytes available flash memory
- คอมไพล์และดาวน์โหลดอัตโนมัติเมื่อใช้ Blockset

3.5.2 ไดอะแกรมส่วนซอฟแวร์ของเครื่องมีการทำงาน

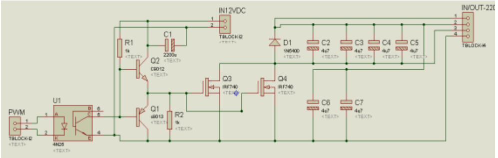
ในส่วนไดอะแกรมส่วนซอฟแวร์ของเครื่องมีการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ 1. ส่วนสวิตซ์ควบคุม อัตราสวิตซ์ 2. ส่วนรับค่าและประมวลผลพารามิเตอร์ 3. ส่วนแสดงค่าพารามิเตอร์



รูปที่ 17 บล็อกไดอะแกรมส่วนโปรแกรมควบคุม

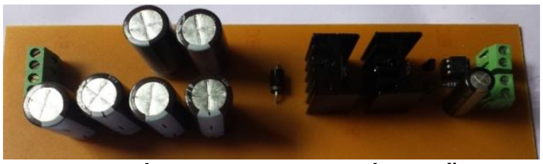
คอนเวอร์เตอร์และชุดควบคุมสวิตช์ที่นำมาวิจัยในครั้งนี้จะใช้จำนวน 1 แบบ 1. คอนเวอร์เตอร์แบบ DC-AC-DC ชนิด Push-Pull แรงดัน 250 โวลต์กระแสตรง 100 วัตต์ และมีชุดสวิตช์ควบคุม อัตราสวิตซ์ จะเป็นส่วนควบคุมแรงดันคอนเวอร์ส่วนนี้จะเป็นการควบคุมการกระตุ้นชุดขดลวดสนามเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้ชุดอาเมเจอร์และกระแสที่จ่ายโหลด เพื่อให้ได้กำลังงานที่กระตุ้นชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดที่เหมาะสมและได้กำลังงานสูงสุดด้านอาเมเจอร์ของเครื่องกำเนิดกระแสตรง แต่ละความเร็วลม

3.5 วงจรขับเกตเพื่อปรับ อัตราสวิตซ์



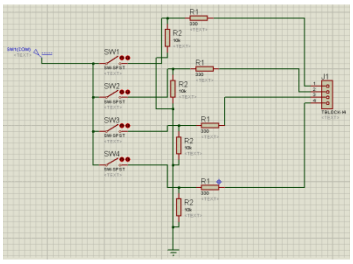
รูปที่ 18 วงจรขับเกตเพื่อปรับ อัตราสวิตซ์

วงจรขับเกต ออปโต้ 4N25 วงจรนี้ถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันการลัดวงจรจากวงจรภาคกำลัง มาสู่ไมโครคอนโทรเลอร์เนื่องจากว่า ออปโต้ 4N25 จะเป็นตัวแยกกราด์ระหว่างวงจรภาคกำลังกับวงจร ไมโครคอนโทรเลอร์ ออกจากกันโดยสิ้นเชิง และ วงจรขับเกต ออปโต้ 4N25 ยังทำหน้าที่ขยายสัญญาณ พีดับบิวเอ็ม ที่ออกมาจาก ไมโครคอนโทรเลอร์ ในส่วนของวงจรภาคกำลังจะประกอบด้วย มอสเฟส ทั้งหมดจำนวน 2 ตัว ซึ่งจะนำมอสเฟสมาทำงานเป็นสวิตซ์โดยอาศัยการทำให้มอสเฟสนำกระแสและหยุดนำกระแสอย่างรวดเร็ว มอสเฟสจะทำงานพร้อมกันส่วนนี้ควบคุมการทำงานด้วย STM32F4 Discovery เพื่อปรับ อัตราสวิตซ์ วงจรภาคกำลังจะแสดงดังรูปที่ 19

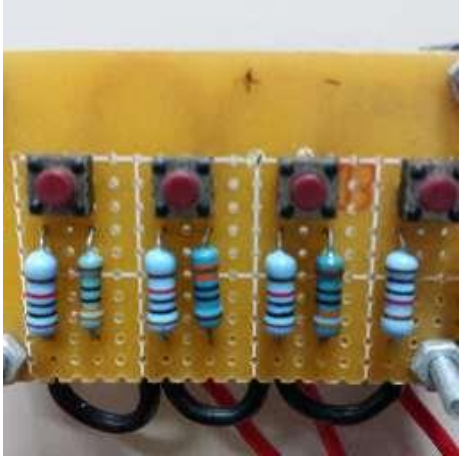


รูปที่ 19 วงจรภาคกำลังที่สร้างขึ้น

3.6 การออกแบบชุดสวิตช์ควบคุม อัตราสวิตซ์



รูปที่ 20 การต่อชุดสวิตช์ควบคุม อัตราสวิตซ์



รูปที่ 21 ชุดสวิตช์ควบคุม อัตราสวิตซ์ จริง

จากรูปที่ 20-21 อธิบายวงจรสวิตช์ควบคุม อัตราสวิตซ์ ตามหมายเลข TBlock ด้วยที่มีไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันที่ 3.3 VDC

หมายเลข 1 คือ กดสวิตช์ อัตราสวิตซ์ GF1 Up ให้ขา PE4 ของ STM32F4

หมายเลข 2 คือ กดสวิตช์ อัตราสวิตซ์ GF1 Dows ให้ขา PE5 ของ STM32F4

หมายเลข 3 คือ กดสวิตช์ อัตราสวิตซ์ GF2 Up ให้ขา PE6 ของ STM32F4

หมายเลข 4 คือ กดสวิตช์ อัตราสวิตซ์ GF2 Dows ให้ขา PD7 ของ STM32F4

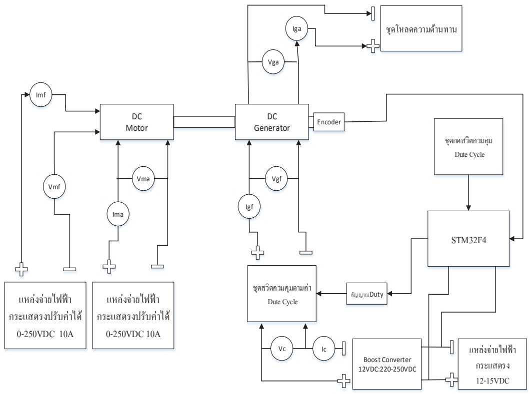
เพื่อให้ STM32F4 ทำการประมวลผลและส่งสัญญาณให้ชุดควบคุมสวิตช์ อัตราสวิตซ์ จ่ายกระแสไฟชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิด ทำขึ้นมาสองชุดเพื่อเหลือใช้งานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในส่วนของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC-AC-DC ชนิด Push-Pull ระบบควบคุมการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแยก และทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และทางด้านซอฟแวร์ ซึ่งทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะประกอบไปด้วย วงจรเร็กติฟาย มัลติมิเตอร์ วงจร Push-Pull คอนเวอร์เตอร์ DC-AC-DC ,วงจรขับเกตวงจร ในส่วนของทางด้านซอฟแวร์นั้น จะใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ STM32F4 discovery เป็นตัวระบบควบคุม อัตราสวิตซ์ ด้วยการกดสวิตช์เพื่อควบคุม โดยภาพรวมของระบบควบคุมการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้เต็มประสิทธิ์ภาพของเครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแยก

ส่วนของการต่อ วงจรแปรผันไฟฟ้ากระแสตรง คอนเวอร์เตอร์แบบ DC-AC-DC ชนิด Push-Pull เข้ากับชุดควบคุมด้วยจ่ายกำลังงานให้ชุดสวิตช์กำลัง Mosfet IRF740 ด้วยที่มีออปโต้ 4N25 เป็นตัวควบคุมสัญญาณ PWM ให้ Mosfet IRF740 ด้วยมี STM32F4 Discovery เป็นตัวควบคุมการทำงานเพื่อให้สามารถปรับ อัตราสวิตซ์ ให้จ่ายให้ออปโต้ 4N25 ควบคุม Mosfet IRF740 เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดเพื่อได้ประสิทธิ์ภาพสูงสุดของแต่ละความเร็วลม

4.1 กระบวนการทำงานของเครื่อง

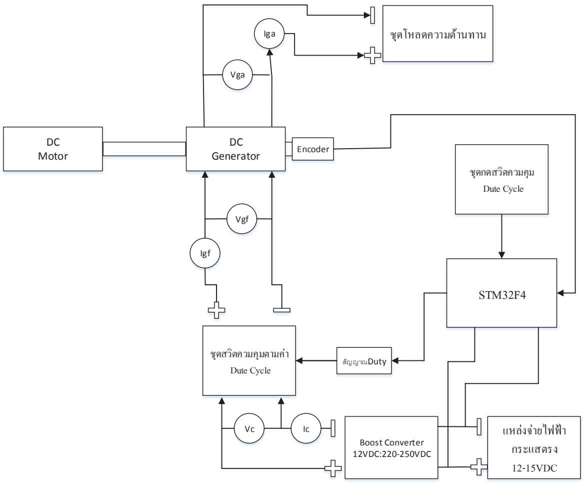


รูปที่ 22 กระบวนการทำงานของเครื่อง

จากรูปที่ 22 แสดงโครงสร้างการทำงานของวงจรการออกแบบและสร้างวงจรแปรงผันกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมที่มีการควบคุมประสิทธิภาพด้วยอัตราส่วนความเร็วทิปโดยมี 3 ส่วนหลักๆ คือ 1.อินพุต,เอาต์พุตแรงดัน,กระแสของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และ ความเร็ว

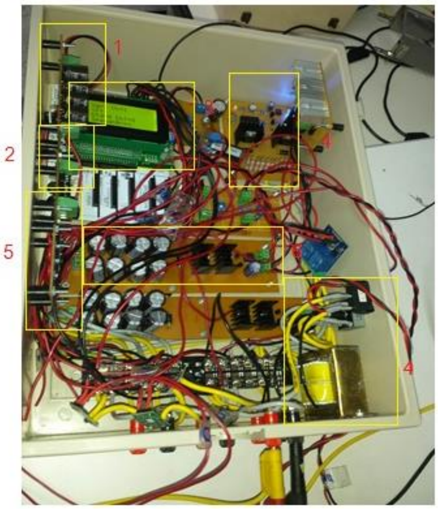
รอบและสวิตช์ควบคุม อัตราสวิตซ์ 2.การเขียนโปรแกรมให้ประมวลผลโดยใช้ Simulink 3.ระบบประมวลผลการทำงานหน้าจอแสดงผลการทำงานของเครื่องค่า อัตราสวิตซ์ และ RPM และมีการบันทึกค่าพารามิเตอร์

4.2 ขั้นตอนสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก



รูปที่ 23 ลักษณะการต่อคอนเวอร์เตอร์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

4.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของคอนเวอร์เตอร์เพื่อควบคุม ค่าอัตราสวิตซ์ ด้วย STM32F4DISCOVERY เพื่อควบคุมประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแยก



รูปที่ 24 ส่วนประกอบต่างๆ ของคอนเวอร์เตอร์

ส่วนประกอบภายในอธิบายได้ดังรูปที่ 24

หมายเลข 1 คือ ชุดวงจรคาปาซิเตอร์

หมายเลข 2 คือ ชุดวงจรแยกชุดแรงดันที่ไม่เท่ากันของ Encoder

หมายเลข 3 คือ บอร์ดประมวลผล TM32F4DISCOVERY

หมายเลข 4 คือ คอนเวอร์เตอร์แบบ DC-AC-DC ชนิด Push-Pull

หมายเลข 5 คือ ชุดสวิทช์ควบคุม อัตราสวิตซ์

รูปที่ 25 ชุดทดลองการควบคุม Tip speed ratio

ส่วนประกอบภายในอธิบายได้ดังรูปที่ 25

หมายเลข 1 คือ เครื่องคอนเวอร์เตอร์เพื่อควบคุม ค่า อัตราสวิตซ์ เพื่อควบคุมประสิทธิภาพการผลิตกำลังงานไฟฟ้า

หมายเลข 2 คือ มัลติมิเตอร์ 8 ตัว รายละเอียดดังนี้ มัลติมิเตอร์ 2.1 ใช้งานวัด Igf = Ic , ga ,Vga, Ima , Vc มัลติมิเตอร์ 2. 2 ใช้งานวัด Vm , Vmf ,Vgfหมายเลข 3 คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก ขนาด 800 W

หมายเลข 4 คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก ขนาด 1 kW

หมายเลข 5 คือ แหล่งจ่ายปรับค่าได้พิกัด 220 VDC 1 A

หมายเลข 6 คือ แหล่งจ่ายปรับค่าได้พิกัด 220 VDC 10 A

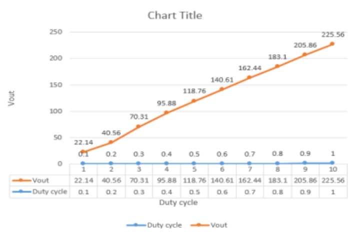
หมายเลข 7 คือ Encoder

หมายเลข 8 คือ ชุดโหลดความต้านทาน

หมายเลข 9 คือ คอมพิวเตอร์ที่ใช้เขียนโปรแกรม MATLAB/Simulink และวงจรต่างๆ

5. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแรงดันขาออกของ Converter ต่อเข้าควบคุมด้วยสวิตช์ควบคุมด้วยการปรับ อัตราสวิตซ์แรงดัน Input จากคอนเวอร์เตอร์ เท่ากับ 235VDC



Duty cycle	Vout
0.1	22.14
0.2	40.56
0.3	70.31
0.4	95.88
0.5	118.76
0.6	140.61
0.7	162.44
0.8	183.10
0.9	205.86
1.0	225.56

รูปที่ 26 การควบคุมอัตราสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์

5.1 ผลการทดสอบคอนเวอร์เตอร์และระบบควบคุม

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

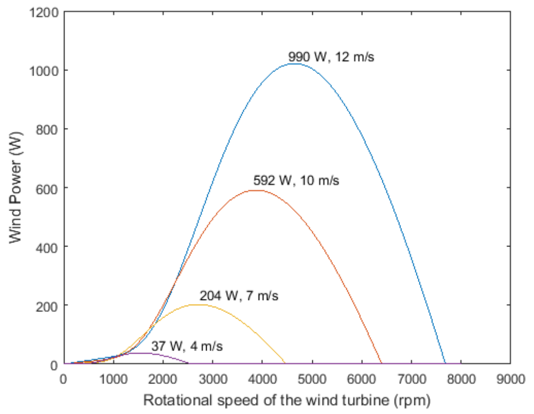
1 กิโลวัตต์ 220 โวลต์ 5.6 แอมแปร์ 2055 รอบต่อนาที		
R_s =5.714 โอห์ม	L_s =0.138เฮนรี	J =0.0137 กิโลกรัม/เมตร ^{3}
วงจรกระตุ้นสนามเหล็ก	220 โวลต์	0.5 แอมแปร์

ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดกระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

0.8 กิโลวัตต์ 220 โวลต์ 3.64 แอมแปร์ 2850 รอบต่อนาที		
วงจรกระตุ้นสนามเหล็ก	220 โวลต์	0.5 แอมแปร์

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าผลการทดสอบเครื่องจำลองกังหันลมที่ค่าความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาทีถึง 12 เมตรต่อวินาที[5]

v_w(m/s)	n(rpm)	P_m(W)	T_m(Nm)	I_a^*(A)	I_a(A)
12	2055	990	4.52	5.6	5.6
10	1882	592	2.9	3.59	3.59
7	1330	204	1.45	1.75	1.75
4	700	37	0.48	0.5	0.5



รูปที่ 27 ผลการจำลองกังหันลม Wind Emulator

5.2 การทดสอบ

การทดสอบ ทำได้โดยการทดสอบการปรับอัตราสวิตซ์ (อัตราสวิตซ์) โดยส่วนควบคุมสวิตช์ควบคุมที่จ่ายให้กับชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดและด้านอาเมเจอร์มีโหลดต่อด้วยคิดจากโหลด 100 เปอร์เซ็นของพิกัดเครื่องกำเนิดที่จ่ายให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 5.4 ความเร็วลมที่ 4 เมตรต่อวินาทีกำลังงานสูงสุดเครื่องกำเนิดผลิตได้สูงสุด

ความเร็วลมที่ 4 m/s , rpm 700 , พิกัดโหลด 100 % Tm=0.48, Pm = 37					
เครื่องกำเนิด		มอเตอร์		อัตราสวิตซ์	RPM
Pf	Pa	Pm	P-loss		
0	0.01	25.19	25.18	0	704
4.41	5.7	32.05	21.94	21	699

ตารางที่ 5.5 ความเร็วลมที่ 7 เมตรต่อวินาทีกำลังงานสูงสุดเครื่องกำเนิดผลิตได้สูงสุด

ความเร็วลมที่ 7 m/s , rpm 1330 , พิกัดโหลด 100 % Tm=1.45, Pm = 204					
เครื่องกำเนิด		มอเตอร์		อัตราสวิตซ์	RPM
Pf	Pa	Pm	P-loss		
0	0.02	50.65	50.63	0	1330
52.38	119.54	204.05	32.13	66	1328

ตารางที่ 5.6 ความเร็วลมที่ 10 เมตรต่อวินาทีกำลังงานสูงสุดเครื่องกำเนิดผลิตได้สูงสุด

ความเร็วลมที่ 10 m/s , rpm 1882 , พิกัดโหลด 100 %					
Tm=2.1, Pm = 592					
เครื่องกำเนิด		มอเตอร์		อัตราสวิตซ์	RPM
Pf	Pa	Pm	P-loss		
0	0.02	89.86	89.84	0	1882
119.46	356.68	571.64	95.5	100	1882

ตารางที่ 5.7 ความเร็วลมที่ 12 เมตรต่อวินาทีกำลังงานสูงสุดเครื่องกำเนิดผลิตได้สูงสุด

ความเร็วลมที่ 12 m/s , rpm 2055 , พิกัดโหลด 100 เปอร์เซ็นของเครื่องกำเนิด					
Tm=4.52, Pm = 990					
เครื่องกำเนิด		มอเตอร์		อัตราสวิตซ์	RPM
Pf	Pa	Pm	P-loss		
0	0.02	97.21	97.19	0	2057
118.3	421.82	677.47	137.35	100	2056

การหาค่าประสิทธิภาพกำลังงานของเครื่องกำเนิด

$$\eta = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} \times 100 \qquad (33)$$

เมื่อ $P_{in} = P_m$ คือ กำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์

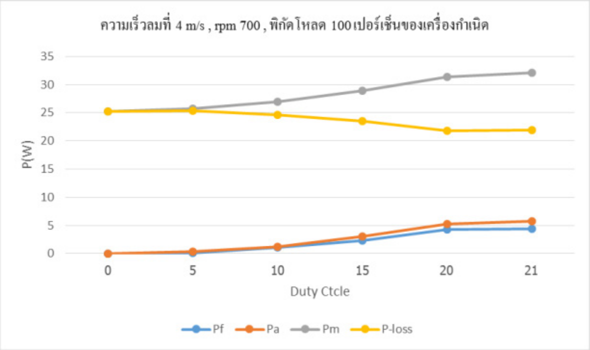
P_{Loss} คือ กำลังศูนย์เสียให้ตัวมอเตอร์

$$P_{Loss} = P_m - (P_a + P_f) \qquad (34)$$

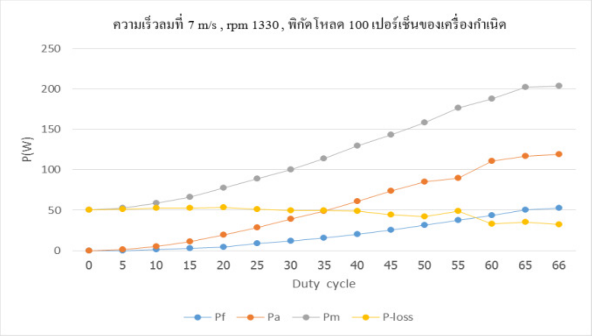
เมื่อ P_m คือ กำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์

P_a คือ กำลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด

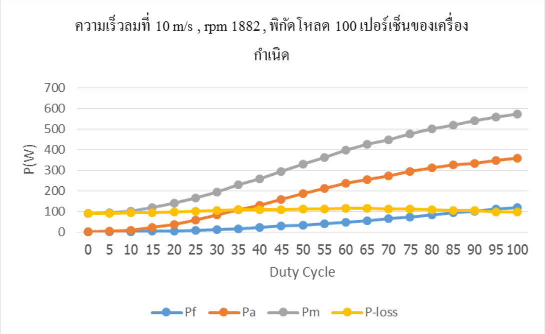
P_f คือ กำลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กหลักของเครื่องกำเนิด



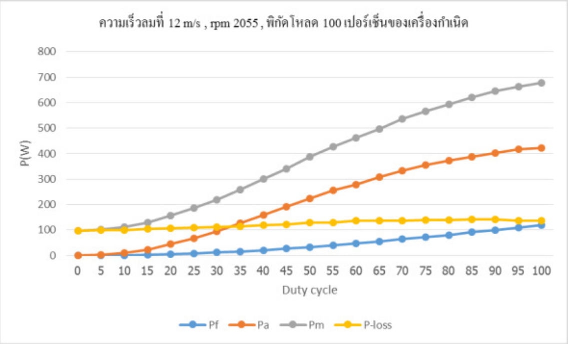
รูปที่ 28 กราฟการทดในช่วงความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาทีกำลังงานสูงสุดเครื่องกำเนิดผลิตได้สูงสุด



รูปที่ 29 อัตราสวิตซ์และกำลังที่ความเร็วลม 7 m/s



รูปที่ 30 อัตราสวิตซ์และกำลังที่ความเร็วลม 10 m/s



รูปที่ 31 อัตราสวิตซ์และกำลังที่ความเร็วลม 12 m/s

ตารางที่ 4.8 ความเร็วลมกับกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดเครื่องกำเนิดผลิตได้สูงสุดและประสิทธิภาพ

ตารางค่ากำลังงานของแต่ละความเร็วลม , พิกัดโหลด 100 เปอร์เซ็นของเครื่องกำเนิด											
ความเร็วลม	มอเตอร์					เครื่องกำเนิด			Converter		
v_w(m/s)	n(rpm)	P_m(W)	T_m(Nm)	I_a	P_{mech}	P_f	P_a	P_{loss}	$P_{converter} = P_f$	*Dutycycle*	η
$4m/s$	702	32.05	0.48	0.5	35.28	4.41	5.7	21.94	4.41	21	31.54
$7m/s$	1332	204.05	1.45	1.75	202.24	52.38	119.54	32.13	52.38	66	84.25
$10m/s$	1882	571.64	2.55	3.31	502.52	119.46	356.68	95.5	119.46	100	83.29
$12m/s$	2055	677.47	3.09	3.56	664.92	118.3	421.82	137.35	118.3	100	79.73

6. อภิปรายผลการวิจัย

จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก จะเห็นได้ว่าการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกจากการปรับแต่ละความเร็วลมและค่า อัตราสวิตซ์ แต่ละค่าให้กับชุดสวิตช์ควบคุมชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแยกไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีชุดโหลดความต้านทาน ที่มีการปรับตั้งโหลดที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นของพิกัดโหลดกระแสของเครื่องกำเนิด ตารางการทดสอบที่ 4.8 นั้นจะเห็นว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าพารามิเตอร์ ด้วยมีมอเตอร์เป็นตัวขับเครื่องกำเนิดและทำการทดสอบของระบบแต่ละความเร็วลม ที่มีโหลด100 เปอร์เซ็นของพิกัดโหลดกระแสของเครื่องกำเนิด และ ทำการปรับอัตราสวิตซ์ จะเห็นได้ว่าความเร็วที่ลมต่ำกำลังงานจะแปรผันตามกำลังงานที่จ่ายและประสิทธิภาพนั้นก็จะต่ำตามเพราะการศูนย์เสียให้ตัวมอเตอร์และ ตั้งแต่ ความเร็วลมที่ 4-12 m/s นั้นประสิทธิภาพที่ได้นั้นจะมีค่าประสิทธิภาพที่สูงตามกำลังงานที่ส่งผ่านระหว่างตัวมอเตอร์และเครื่องกำเนิด และในการทดสอบการปรับ อัตราสวิตซ์ ส่วนควบคุมสวิตซ์ควบคุมที่จ่ายให้กับชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดและด้านอาเมเจอร์มีโหลด และบันทึกค่าพารามิเตอร์ ความเร็วรอบ (RPM) , อัตราสวิตซ์ (อัตราสวิตซ์), แรงดันสนาม (Vf), กระแสสนาม (If) , ตัวประกอบกำลัง (Pf) , แรงดันอาเมเจอร์ (Va) , กระแสอาเมเจอร์ (Ia), กำลังอาเมเจอร์ (Pa), แรงดันควบคุม (Vc), กระแสควบคุม (Ic) และกำลังไฟฟ้า (Pc) จ่ายให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก พบว่าค่าสนามแม่หลักทางด้านชุดขดลวดสนามมีผลต่อด้านอาเมเจอร์จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยค่าพารามิเตอร์ต่างไม่ว่าจะเป็นลมและใบพัดและมุมองศาของใบพัดคงที่ของกังหันลม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ปรับค่าอัตราสวิตซ์ เพื่อให้ได้กำลังเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแยกที่สูงที่สุด

7. สรุปผลการวิจัย

วงจรคอนเวอร์เตอร์ DC-AC-DC ชนิด Push-Pull โดยรับแรงดันจากแหล่งจากไฟฟ้ากระแสตรงและทำการยกระดับแรงดันด้วยคอนเวอร์เตอร์ใช้ไอซี SG3524 สร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์มอสเฟตเบอร์ IRF3205 เพื่อจ่ายให้หม้อแปลงไฟฟ้าผ่านไดโอดบริดและจ่ายแรงดันให้สวิตช์มอสเฟต IRF740 ด้วยมีบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ STM32F4 Discovery เป็นส่วนควบคุมอัตราสวิตซ์ (อัตราสวิตซ์) โดยส่งสัญญาณให้ออปโต้ 4N25 ให้สวิตช์ควบคุมมอสเฟตเบอร์ IRF740 ไฟฟ้ากระแสตรงกระตุ้นชุดขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดขนาด 0.8 กิโลวัตต์ และมอเตอร์เป็นตัวขับเหมือนกังหันลมชนิดใบพัดคงที่ ขนาด 1 กิโลวัตต์ ของในแต่ละความเร็วลม 4 m/s, 7 m/s, 10 m/s และ 12 m/s เพื่อปรับเปลี่ยนค่ากำลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด และควบคุมความเร็วทิปสัมประสิทธิ์กังหันลม กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพให้ได้ค่าสูงสุดของในแต่ละความเร็วลม และ พลังงาน ด้าน เอาต์พุตเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพนั้นจะเห็นได้ว่าในความที่ความเร็วต่ำนั้นประสิทธิที่ได้น้อยตามนั้นเกิดจากการสูตรเสียในตัวมอเตอร์ที่มากและค่าความเร็วที่สูงนั้นสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าจากโหลดได้ประสิทธิภาพที่สูงในการนำเสนอเป็นหลักการที่ง่ายไม่ซับซ้อนเหมาะสมกับการประยุกต์สู่งานจริงเพื่อศึกษาและพัฒนาต่อไปในรูปแบบการใช้งานกังหันลมจริง และ ลมจริงได้

ข้อเสนอแนะ

1. ระบบที่ใช้เป็นต้นกำลังในการทดสอบใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกมีพิกัดมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระแสตรงแต่มีค่าความเร็วรอบที่ต่ำกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจึงทำให้ไม่สามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าออกมาได้เต็มตามพิกัด ควรเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความเร็วรอบที่สัมพันธ์และเหมาะสมกันเพื่อนให้ผลิตกำลังงานไฟฟ้าเต็มตามพิกัด

2. การใช้งาน Encoder วัดสัญญาณความเร็วรอบเพื่อให้ได้สัญญาณที่แม่นยำควรเลือกใช่สัญญาณพัลส์ที่ต่ำจะได้ความแม่นยำที่สูงก่อนเข้าสู่บอร์ดเพื่อประมวลผลทำให้เพิ่มสมรรถนะการทำงานให้มากขึ้น

3.แนวทางในการพัฒนาต่อต้องมีแรงลมที่แรงลมที่เหมาะสมและควรสอบเรื่องการควบคุมกังหันลมจริงและเรื่องกำลังงานไฟฟ้าของชุด คอนเวอร์เตอร์ ควรออกแบบให้สูงกว่าการใช้งานของโหลดประมาณ 2-3 เท่าจึงจะทำให้ชุดคอนเวอร์เตอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงและอดต้องการใช้งานจริง

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตเชียงรายที่ได้สนับสนุนการศึกษาและให้สถานที่ในการทำงานวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Rui Melcio, Victor M. F. Mendes and Joo P. S. Catalo. (2011). **Wind Turbines with Permanent Magnet Synchronous generator and Full-Power Converters: Modelling. Control and Simulation Wind Turbines**. Dr.Ibrahim Al-Bahadly (Ed.). ISBN: 978-953-307-221-0. InTech.

[2] John Fletcher and Jin Yang. (2010). **Introduction to the Doubly-Fed Induction Generator for Wind Power Applications, Paths to Sustainable Energy**. Dr Artie Ng (Ed.). ISBN: 978-953-307-401-6.

[3] Sourkounis Constantinos and Ni Bingchang. (2010). **Control Methods for Variable Speed Wind Energy Converters, Wind Power**, S M Muyeen (Ed.), ISBN: 978-953-7619-81-7.

[4] Abdel Aitouche and Elkhatib Kamal. (2011). **Intelligent Control of Wind Energy Conversion Systems, Wind Farm - Impact in Power System and Alternatives to Improve the Integration**, ISBN:978-953-307-467-2.

[5] Jogendra Singh Thongam and Mohand Ouhrouche (2011). **MPPT Control Methods in Wind Energy Conversion Systems, Fundamental and Advanced Topics in Wind Power**, Dr. Rupp Carriveau (Ed.), ISBN: 978-953-307-508-2.

[6] S. K. Kim, E.S. Kim. (2007). **PSCAD/EMTDC-Based Modeling and Analysis of a Gearless Variable Speed Wind Turbine**. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 22, no. 2, pp. 421-429.

[7] H.M. Kojabadi, L. Chang, and T. Boutot. (2004). **Development of a Novel Wind Turbine Simulator for Wind Energy Conversion Systems Using an Inverter-Controlled Induction Motor**. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 19, no. 3, pp. 547-552,

[8] T. Hardy and W. Jewell. (2011**). Emulation of a 1.5 MW WindTurbine with a DC Motor,** IEEE Conference on Power & Energy Society General Meeting, pp. 1-8.

[9] เพลิน จันทร์สุยะ. (2556). **ศึกษาเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่โดยใช้ระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่จตุภาค**. หน้า(12-16). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[10] O. Ozgener and L. Ozgener. (2007). **Exergy and reliability analysis of wind turbine systems: A case study**. **Int. J. of Renewable and Sustainable Energy Reviewsvol.11**.issue8,pp.1811-1826.

[11] Zurong Hu, Junqi Wang, Rixin Lai and Yan Xing. (2009). **Research on Fixed-pitch Wind Turbine Running in Deep Stall Region**. IEEE Conference on World Non-Connected Wind Power and Energy, pp.1-6.

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริด ที่ติดตั้งบนหลังคาในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทองจังหวัดพัทลุง

Economic Feasibility of Grid Connected Solar Rooftop PV System atSin Prae Thong Learning Center in Phatthalung Province

จอมภพ แววศักดิ์[1*] ชนะ จันทร์ฉ่ำ[1] ปราณี หนูทองแก้ว[1] อภิชาติ คงแป้น[2] อุทัย บุญดำ[3]
และ ชูลีรัตน์ คงเรือง[4]

Jompob Waewsak[1*], Chana Chancham[1], PraneeNutongkaew[1], Apichart Kongpan[2]
Uthai Boondum[3] and ChuleeratKongruang[4]

[1]ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

[2]บริษัทปตท.จำกัด (มหาชน)555 ถนนวิภาวดีรังสิตแขวงจตุจักรเขตจตุจักรจังหวัดกรุงเทพมหานคร10900

[3]ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทองตำบลลำสินธุ์อำเภอศรีนครินทร์จังหวัดพัทลุง 93000

[4]สำนักวิชาการจัดการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช80160

[1]Research Center in Energy and Environment, Faculty of Science, Thaksin UniversityBanPrao, Pa Payom, Phatthalung, 93210

[2]PTT Public Company Limited, 555 VibhavadiRangsit Road, Chatuchak, Bangkok 10900

[3]Sin Prae Thong Learning Center, Lumsin, Srinakarin, Phatthalung 93000

[4]School of Management, Walailak University, Nakhon Si Thammarat 80160

*jompob@tsu.ac.th, 074-609600 ต่อ 2461, 074-693975

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการประเมินต้นทุนต่อหน่วยและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง โดยวิเคราะห์ตัวชี้วัด NPV IRR BCR และ PBP ทั้งในกรณีการขายไฟฟ้าในแบบ FiT (Feed-in Tariff) และการขายไฟฟ้าในอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Average Tariff) โดยผลการศึกษาพบว่าระบบมีความเป็นไปได้ในการลงทุนเชิงพาณิชย์และยังมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากสามารถเป็นศูนย์การเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทนในขณะเดียวกันระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด นี้ยังช่วยหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศและสามารถลดค่าไฟฟ้าและของศูนย์การเรียนรู้ได้ในระยะยาวอีกด้วย

Abstract

The aim of this paper is to evaluate the cost of energy (CoE) and economic feasibility of a 3.5 kWp grid connected solar rooftop at Sin Prae Thong learning center in Phatthalung province by using NPV, IRR, BCR and PBP as four main indices based on two schemes, i.e., feed in tariff (FiT) scheme and self-consumption reduction scheme. Results show thatthe installation of 3.5 kWp grid connected solar rooftop system is feasible for investment. Furthermore, it enhanced the reduction of CO_2 emission avoidance and electricity consumption of a long-term operation of a learning center.

คำหลัก : เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา,ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์, การวิเคราะห์โครงการ, อัตรารับซื้อไฟฟ้า

Keyword s: Solar Rooftop,Economic Feasibility, Project Analysis, Feed-in-Tariff

1. บทนำ

ปัจจุบันมีหลายภาคส่วนให้ความสนใจในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้นทั้งในรูปแบบที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป (Solar PV Roof Top) ติดตั้งบนหลังคาอาคาร เล็ก-กลาง-ใหญ่ (Commercial Solar PV Rooftop) และโซล่าฟาร์ม (Solar Farm) เนื่องจากปัจจุบันต้นทุนการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำลงเรื่อยๆ โดยจากผลการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน พบว่าราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยของทุกเทคโนโลยี มีการปรับลดลงจาก 1.14 ดอลลาร์สหรัฐต่อวัตต์ ในเดือนธันวาคม 2554 เหลือเพียง 0.84 ดอลลาร์สหรัฐต่อวัตต์ในเดือนตุลาคม 2555ลดลงมาประมาณ 26% ส่งผลให้ต้นทุนโดยรวมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยในปี พ.ศ. 2555 ปรับตัวลดลงลดลงประมาณ 15% [1] และ บริษัท Suntech Power สาธารณรัฐประชาชนจีน ผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์ใหญ่ที่สุดของจีน ได้เผยข้อมูลที่ทำการวิจัยในห้องทดลอง พบว่าเทคโนโลยีใหม่จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ลดลงได้ต่ำกว่า 1 ดอลลาร์สหรัฐต่อเมกะวัตต์ ถือเป็นจุดเปลี่ยนอนาคตที่สำคัญ [2] จากต้นทุนที่ลดลงจูงใจให้หลายหน่วยงานเข้ามาลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น และจากการศึกษาข้อมูลดาวเทียมประกอบการตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) พบว่าประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากกว่า 10,000 เมกะวัตต์ ขณะที่สถานภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยปี พ.ศ. 2557 ที่ขายไฟฟ้าเข้าระบบแล้วมีเพียง 1,354 เมกะวัตต์ และมีโครงการที่อยู่ระหว่างดำเนินการขอขายไฟฟ้าเข้าระบบอีก 2,764เมกะวัตต์ หากรวมโครงการของส่วนราชการและสหกรณ์การเกษตร คาดว่าจะมีโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เข้าระบบภายในสิ้นปี พ.ศ. 2558 ประมาณ 3,600 เมกะวัตต์ [3] ดังนั้นโอกาสในการเติบโตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยยังมีอีกมาก กระทรวงพลังงานซึ่งเล็งเห็นถึงการเติบโตนี้จึงได้ประกาศแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015) โดยมีเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2579 เท่ากับ 6,000 เมกะวัตต์ [4]ปัจจุบันภาครัฐโดยกระทรวงพลังงาน มีนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรูปแบบใหม่เป็น Feed-in Tariff[5]โดยมีอัตรารับซื้อไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) กำลังการผลิตติดตั้งขนาดไม่เกิน 10 กิโลวัตต์ ในอัตรา FiT 6.85 บาทต่อหน่วย

ประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์ 18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวันอย่างไรก็ตามพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่จังหวัดพัทลุงมีความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศไทยโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวันเนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่มีความชื้นและละอองน้ำตามปัจจัยฤดูกาลดังนั้นการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์อาจจะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าพื้นที่อื่นรวมทั้งสมรรถนะก็อาจจะมีค่าต่ำกว่าพื้นที่ภาคอื่นๆของประเทศไทยอย่างไรก็ตามเนื่องจากต้นทุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงซึ่งนับเป็นโอกาสอันดีที่จะนำเซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าในพื้นที่จังหวัดพัทลุงซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของรังสีอาทิตย์ต่ำเพื่อสาธิตให้เห็นถึงการใช้งานและใช้ประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หากผลการประเมินสมรรถนะออกมาเป็นที่น่าพึงพอใจก็จะสามารถยืนยันได้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไปโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริด ที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทองจะเป็นแหล่งเรียนรู้ทางด้านพลังงานทดแทนที่สำคัญในพื้นที่ภาคใต้และเป็นแหล่งเรียนรู้แก่หน่วยงานต่างๆ ที่สนใจต่อไป อีกทั้งการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ยังช่วยหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศอีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามการประเมินต้นทุนต่อหน่วยความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำการศึกษาเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลประโยชน์และต้นทุนที่แท้จริงของโครงการและเป็น

ข้อมูลสำคัญสำหรับผู้สนใจลงทุนด้านพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินต้นทุนต่อหน่วย ความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5กิโลวัตต์สูงสุดในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาหรือที่เรียกกันว่าSolar Rooftop นั้นคือระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาบ้านที่อยู่อาศัยและอาคารต่างๆโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ในราคาพิเศษ (ราคา 6.16-6.96 บาทต่อหน่วยเป็นเวลา 25 ปี) หรือใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เองภายในบ้านหรืออาคารของตนเองเป็นการประหยัดและลดค่าไฟฟ้า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, 2556)

ในเวลากลางวันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่บนหลังคาจะทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ไฟฟ้ากระแสตรงและจะไหลไปสู่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Grid- Connected Type Inverter) ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในบ้าน เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC, 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต) ไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตได้จะไหลออกจากบ้านไปสู่มิเตอร์ขายไฟฟ้า (kilowatt meter selling meter) ที่ติดตั้งอยู่ที่เสาไฟฟ้าหน้าบ้านอย่างอัตโนมัติ สำหรับเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงอาทิตย์นั้นจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรืออาจมีแต่น้อยมาก จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลออกมาจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ในขณะเดียวกัน ก็จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนจากเสาไฟฟ้าเข้ามาสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

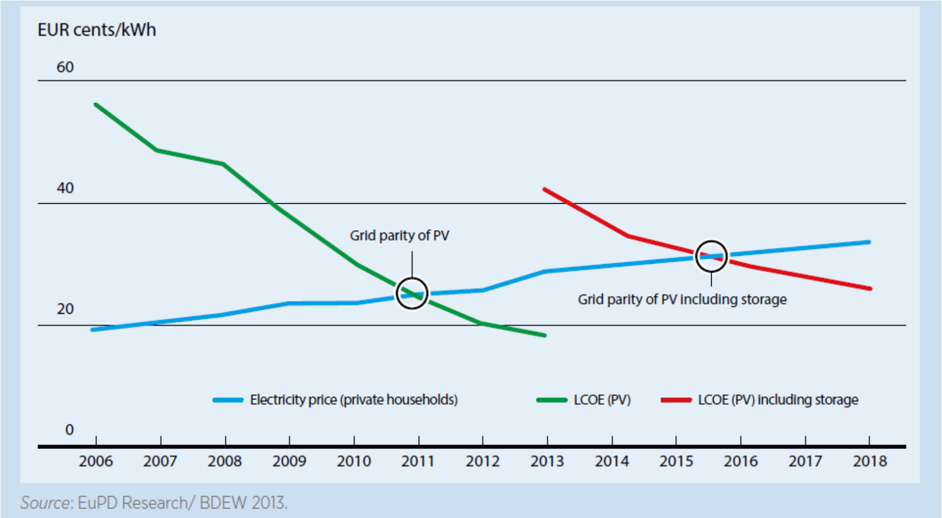
การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นการลดค่าใช้จ่ายของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากค่าใช้จ่ายจำนวนมากของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นสัดส่วนกับพื้นที่แผงเซลล์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงเป็นปัจจัยสำคัญในการลดพื้นที่ที่จำเป็นและลดค่าใช้จ่ายของผู้ประกอบการได้ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นค่าใช้จ่ายหลักของการพัฒนาโครงการ ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของเซลล์เปล่าที่จะเป็นประโยชน์จะต้องได้รับการประเมินภายใต้เงื่อนไขที่เป็นจริง พารามิเตอร์พื้นฐานที่จำเป็นต้องได้รับการประเมินคือกระแสลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด[6]

ความคาดหวังหนึ่งของการพัฒนาด้านพลังงานแสงอาทิตย์ คือ Grid Parity ซึ่งเป็นจุดที่ต้นทุนการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เท่ากับหรือน้อยกว่าการใช้พลังงานในรูปแบบดั้งเดิม ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์มีต้นทุนต่ำ โดยมีผู้คาดหวังที่จะได้รับ Grid Parity ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของแสงอาทิตย์ และค่าใช้จ่ายที่สูงสำหรับการผลิตไฟฟ้าเช่นในรัฐแคลิฟอร์เนียและญี่ปุ่น[7] บางคนแย้งว่า Grid Parity มีได้ในฮาวายและเกาะอื่นๆ ที่หันมาใช้น้ำมันดีเซลในการผลิตไฟฟ้า จอร์จ ดับเบิลยู บุช ได้ตั้งปี 2015 เป็นปีสำหรับ Grid Parity ในสหรัฐอเมริกา[8-9] การพูดในที่ประชุมในปี 2007 หัวหน้าวิศวกร General Electric ได้คาดการณ์ Grid Parity โดยไม่ต้องมีการอุดหนุนในบริเวณที่แดดจัดๆ ของประเทศสหรัฐอเมริการาวปี 2015 [10]สมาคมเซลล์แสงอาทิตย์ได้รายงานในปี 2012 ว่า ประเทศออสเตรเลียได้ Grid Parity แล้ว [11]

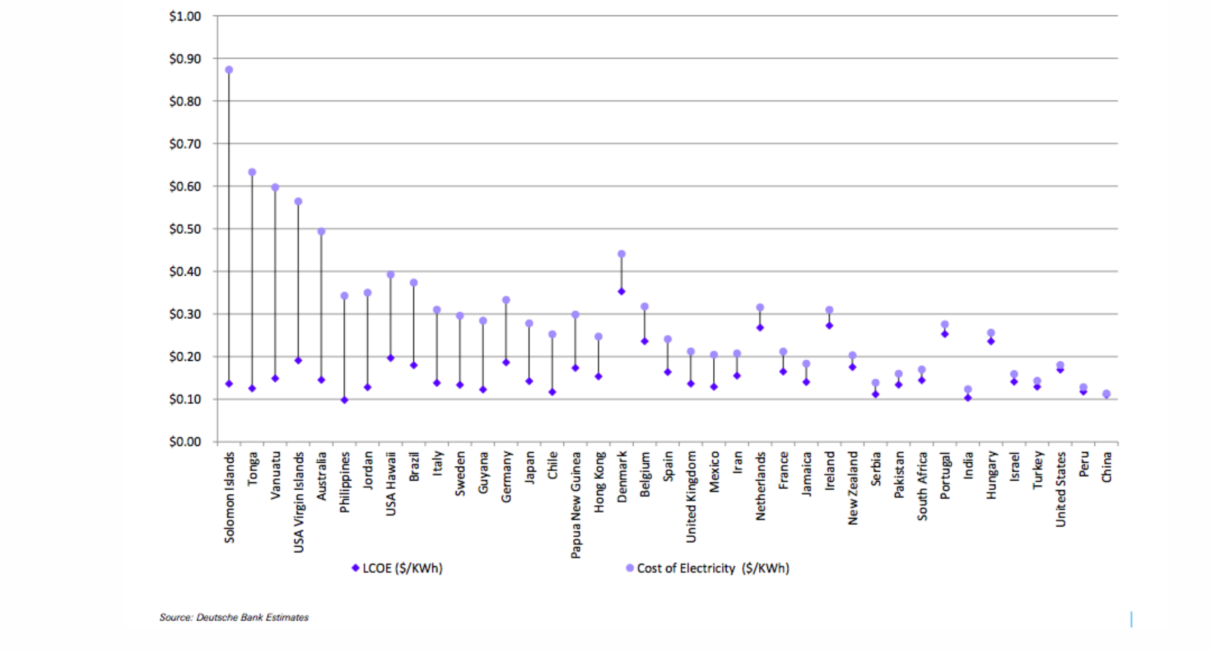
ล่าสุดรายงาน IRENA (2015)[12] แสดงให้เห็นว่าปี 2016 ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งผลให้ประเทศเยอรมนีถึงจุด PV-storage Parity ดังรูปที่ 1 ถ้าแบตเตอรี่ 5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง การวิเคราะห์นี้ไม่รวมเงินอุดหนุนใด ๆ จากรัฐบาลสำหรับระบบ PV-storage

ธนาคาร Deutsche Bank [13] ระบุว่าในปัจจุบันต้นทุนไฟฟ้าจากระบบเซลแสงอาทิตย์บนหลังคาในที่ใดๆ ก็ตามจะอยู่ระหว่าง 0.13 และ 0.23 เหรียญสหรัฐ/หน่วย (kWh) ซึ่งมีราคาต่ำกว่าราคาไฟฟ้าขายปลีกในตลาดพลังงานทั่วโลก เศรษฐกิจของพลังงานแสงอาทิตย์จะดีขึ้นเนื่องจากต้นทุนของแผงเซลแสงอาทิตย์ลดลงอีกทั้งการปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ส่งผลให้ต้นทุนจะลดลงในอีกมาก และการลดลงของสมดุลของต้นทุนระบบจากขนาดและการแข่งขัน นักวิเคราะห์กล่าวว่าพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นGrid Parity ในปลายปี 2017 นั่นเป็นเพราะราคาค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทั่วโลกและค่าใช้จ่ายพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าลดลง



รูปที่ 1 จุด PV-storage Parityของประเทศเยอรมนี(IRENA, 2014)



รูปที่ 2ต้นทุนไฟฟ้าจากระบบเซลแสงอาทิตย์บนหลังคาทั่วโลก

สำหรับประเทศไทยก่อนที่จะถึง Grid Parity ที่มีการประเมินว่าอาจจะเห็นได้ในช่วง 3-4ปีข้างหน้า นโยบายการสนับสนุนและการส่งเสริมของรัฐในรูปแบบต่างๆ เป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญมากต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมไทย เนื่องจากต้นทุนการติดตั้งที่สูง ทำให้ปัจจุบันการติดตั้งในประเทศยังมีในปริมาณที่จำกัด และธุรกิจโซลาร์เซลล์ไทยยังต้องพึ่งพาตลาดส่งออกค่อนข้างมากขณะที่ยังคงเป็นเรื่องที่ยากต่อการที่ผู้ประกอบการจะมีการประหยัดต้นทุน ซึ่งภาครัฐควรที่จะตระหนักและแก้ไขอุปสรรคเหล่านี้เพื่อช่วยอุตสาหกรรมโซลาร์ไทยให้มีความแข็งแกร่งและพร้อมสำหรับแข่งขันในตลาดโลกที่จะเติบตัวอย่างรวดเร็วในช่วงอีกไม่กี่ปีข้างหน้า

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เป็นการวิเคราะห์ถึงต้นทุน-ผลตอบแทน (CostBenefitAnalysis) ของโครงการซึ่งเป็นวิธีการที่จะช่วยในการตัดสินใจว่าโครงการน่าลงทุนหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลตอบแทนของโครงการ

สำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้นต้องวิเคราะห์ดัชนีทางการเงินที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ NPV, IRR, BCR และ PBP โดยแสดงรายละเอียดสมการที่ใช้ในการคำนวณดัชนีต่างๆ ดังนี้

(1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NetPresentValue: NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการ (ผลประโยชน์ของโครงการ) กับกระแสเงินสดจ่ายหรือต้นทุนของโครงการ ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$NPV = PVB - PVC \quad (1)$$

$$= \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

$$= \sum_{t=0}^{n} (B_t - C_t)(1+r)^{-t} \quad (3)$$

เมื่อ B_t ผลตอบแทนของโครงการในปีที่ t

C_t ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

r อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสม

t ระยะเวลาของโครงการ (0, 1, 2, ... , n)

โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาว่าควรลงทุนก็ต่อเมื่อ $NPV > 0$

(2) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-CostRatio: BCR) เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนของโครงการ

$$BCR = PVB / PVC \quad (4)$$

$$= \frac{\sum_{t=0}^{n} B_t (1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^{n} C_t (1+r)^{-t}} \quad (5)$$

ถ้า BCR มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับที่ลงทุนไปแต่ถ้าค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน (InternalRateofReturn: IRR) เป็นวิธีการคำนวณหาอัตราคิดลด (r) ที่ทำให้ NPV เท่ากับ 0 พอดี

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = 0 \quad (6)$$

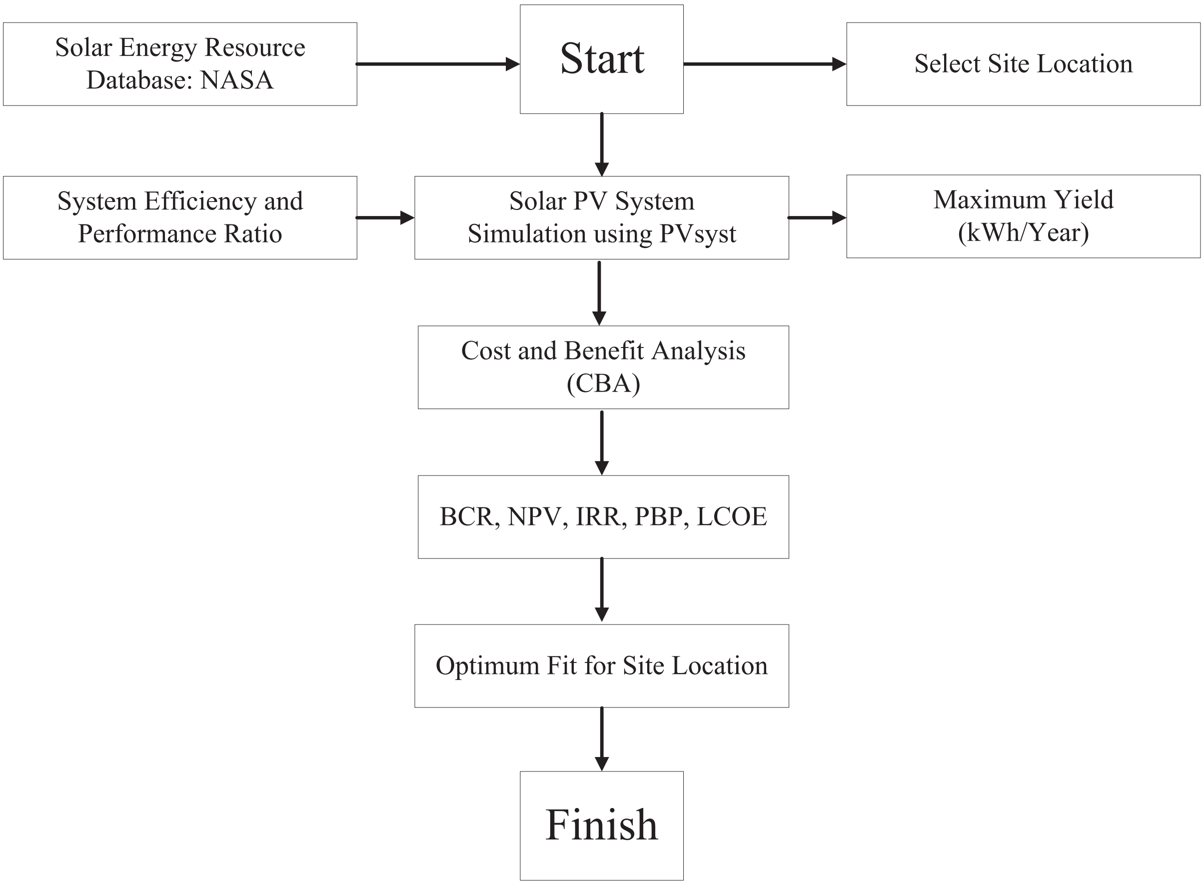
โดยที่ $r = IRR$

โดยผลที่ได้ควรมีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยในปัจจุบัน (ต้นทุนของการกู้ยืม) จึงคุ้มค่าแก่การลงทุน

(4) ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period: PBP) คือ ระยะเวลาหรือปีที่ทำมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับ 0 พอดี

4. ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยใช้ฐานข้อมูลของ NASA-SSE เพื่อนำมาเป็นข้อมูลอินพุทในการประเมินสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด โดยอาศัยการจำลองแบบจากโปรแกรม PVsystโดยการจำลองจะกำหนดประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ Grid Connected เช่น ทรัพยากร, ศักยภาพพลังงาน, การปรับขนาดชิ้นส่วนระบบการผลิตพลังงานจากและการสูญเสียของระบบจากนั้นทำการศึกษาความความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และต้นทุนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อหน่วย (LCOE)โดยใช้ตัวชี้วัด ได้แก่ NPV, IRR, BCR และ PBP แสดงระเบียบวิธีวิจัยดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

5. ผลการวิจัย

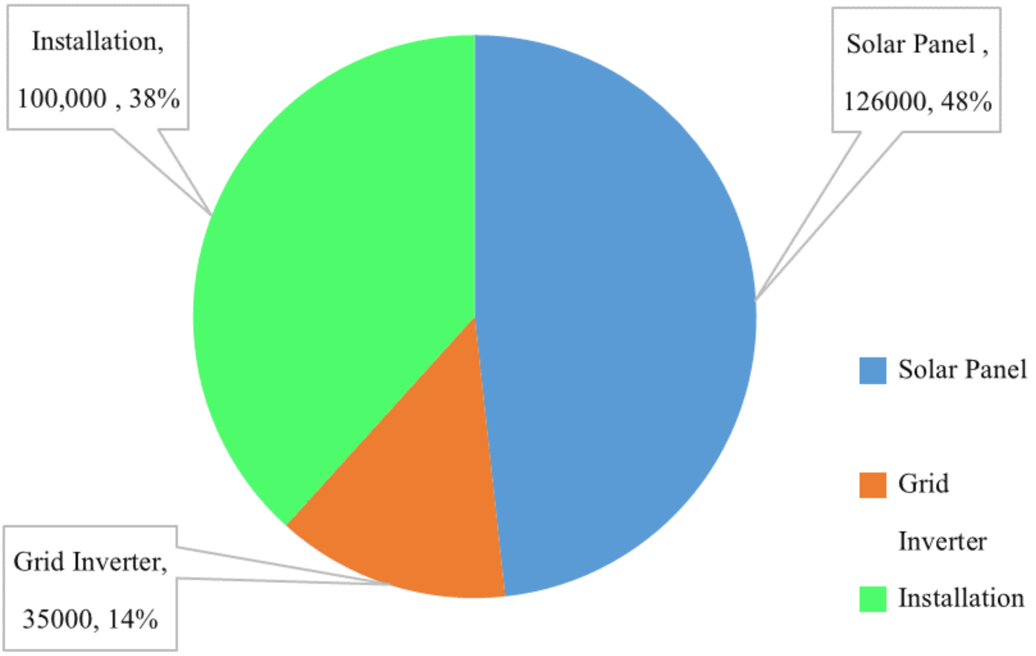
การประเมินความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุดในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง ซึ่งทำการประเมินโดยใช้สมมติฐานทางการเงินดังแสดงในตารางที่ 1 โดยแสดงต้นทุนทั้งหมดดังรูปที่ 4

สำหรับการประเมินต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์นั้น ผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาผลประโยชน์หรือรายรับที่ได้จากการขายไฟฟ้าใน 2 รูปแบบ ได้แก่ การขายไฟฟ้าแบบ FiT (Feed-in Tariff) และการขายไฟฟ้าในอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(Average Tariff) ผลที่ได้พบว่าการขายไฟฟ้าแบบ FiT นั้นมีระยะเวลาคืนทุน 12 ปี ในขณะที่การขายไฟฟ้าแบบอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย มีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 25 ปี แสดงดัชนีทางการเงินของโครงการทั้ง 2 รูปแบบดังตารางที่ 2 และแสดงให้เห็นถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นและผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุดในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์-แพรทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง ดังรูปที่ 5-6

ตารางที่ 1สมมติฐานทางการเงิน

รายการ	ค่า
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 14 แผงแผงละ 9,000 บาท (3,500 Wp)(บาท)	126,000
Grid Invertor ชุดละ 35,000 2 ชุดตลอดอายุโครงการ ([บาท)	35,000
ค่าติดตั้ง + ค่าเปลี่ยน Grid Invertor2 ครั้ง (บาท)	126,600

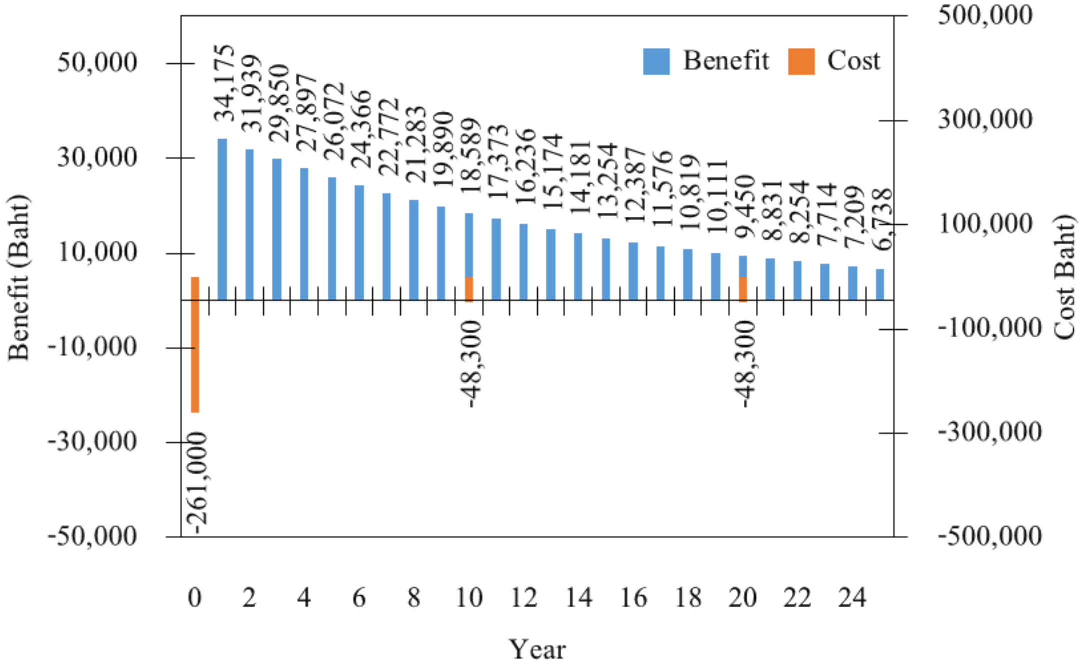
FiT (Baht/kWh)	6.85
อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย ของ กฟภ.(บาทต่อหน่วย)	3.8581
อัตราคิดลด (%)	7
อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าไฟฟ้า ทุก 5 ปี (%)	3.6



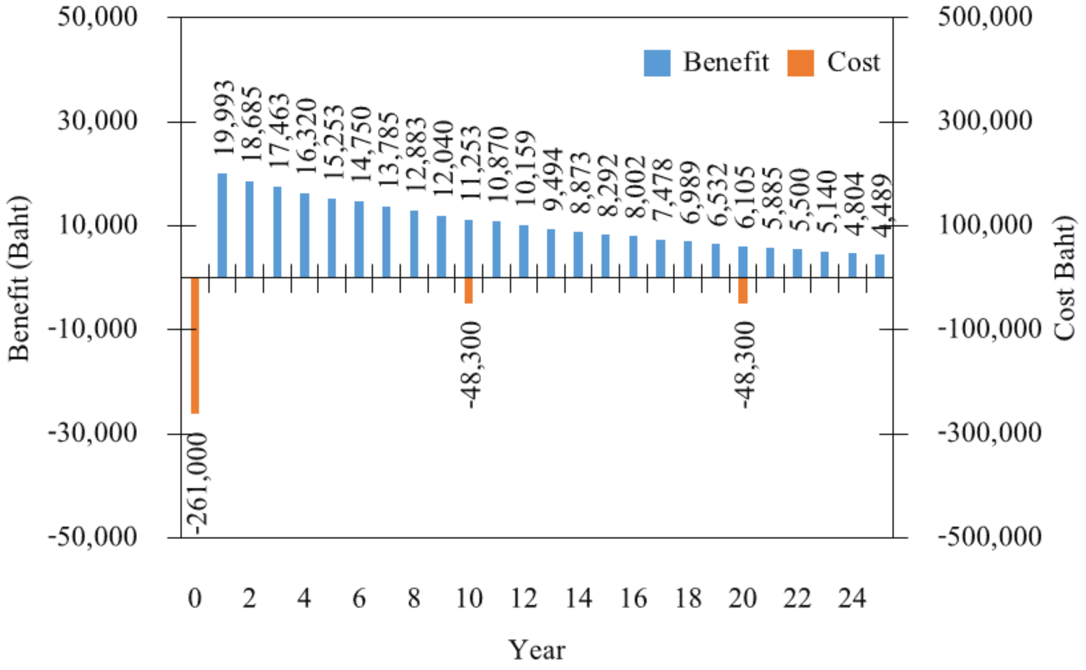
รูปที่4ต้นทุนของโคงการ

ตารางที่ 2 ดัชนีทางการเงินของโครงการ

รายรับ	BCR	NPV	FIRR	PBP
FiT	1.19	128,106	12.30	12
Average Tariff	0.73	-36,999	5.33	>25



รูปที่ 5กระแสเงินสดของโครงการกรณีผลตอบแทนแบบอัตรารับซื้อแบบ FiT



รูปที่ 6กระแสเงินสดของโครงการกรณีผลตอบแทนแบบอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (กฟภ.)

ต้นทุนของไฟฟ้าที่ปรับค่าแล้ว (Levelised Cost of Electricity: LCOE)เป็นราคาของไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับโครงการเมื่อรายได้ (Revenues) มีค่าเท่ากับต้นทุน (Cost) รวมทั้งผลตอบแทนเงินลงทุน (Return on the Capital Investment) มีค่าเท่ากับอัตราคิดลด (Discount Rate)

ราคาไฟฟ้าที่มีค่าสูงกว่านี้จะทำให้ได้ผลตอบแทนของเงินลงทุนสูงกว่าในขณะที่ราคาค่าไฟฟ้าที่ต่ำกว่านี้ก็จะทำให้ได้รับผลตอบแทนของเงินลงทุนต่ำกว่าเช่นเดียวกันโดยแสดงระดับต้นทุนต่อหน่วยเฉลี่ย (LCOE) ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3ค่า LCOE และค่า การหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

LCOE (Baht/kWh)	5.29
CO_2 avoidance (ton CO_2 e)	3.148[1]
CO_2 avoidance (ton CO_2 e)	2.965[2]

[1] อ้างอิงจากอบก. รายงานผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย , ปี 2557 : factor = 0.5897 kgCO_2e/kWh

[2]อ้างอิงจากโครงการ กฟภ factor = 0.5545 kgCO_2e/kWh

6. อภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการจำลองแบบจากโปรแกรม PVsyst โดยอาศัยข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากฐานข้อมูล NASA-SSEสำหรับการผลิตพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด พบว่าระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 12.15จากนั้นทำการประเมินความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง โดยพบว่าต้นทุนหลักที่เกิดจะเป็นค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คิดเป็นร้อยละ 48 ของต้นทุนทั้งหมด รองลงมาเป็นค่าติดตั้งและต้นทุน Grid Invertor ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 38 และร้อยละ 14 ของต้นทุนทั้งหมด สำหรับการประเมินความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์นั้น ผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาผลประโยชน์หรือรายรับที่ได้จากการขายไฟฟ้าใน 2 รูปแบบ ได้แก่ การขายไฟฟ้าในแบบ FiT (Feed-in Tariff) และการขายไฟฟ้าในอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Average Tariff) ผลที่ได้พบว่าการขายไฟฟ้าแบบ FiT ให้ค่าดัชนีทางการเงินทั้ง BCR NPV FIRR และ PBP ดีกว่าการขายไฟฟ้าแบบอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย โดยมีระยะเวลาคืนทุน 12 ปี ในขณะที่การขายไฟฟ้าแบบอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย มีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 25 ปี ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 5.29 บาท และระบบสามารถหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)ได้ 3.148ton $CO_{2\text{-eq}}$

7. สรุปผลการวิจัย

การประเมินความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุดในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง แสดงให้เห็นว่าระบบมีความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ที่จะลงทุนเชิงพาณิชย์ อีกทั้งยังเป็นศูนย์การเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทนให้กับนิสิตนักศึกษา หน่วยงานราชการ และผู้สนใจทั่วไปได้เข้าศึกษาเยี่ยมชม ในขณะเดียวกันระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นี้ยังสามรถช่วยลดภาวะโลกร้อนเนื่องจากระบบช่วยหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ ประโยชน์ที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทองได้รับโดยตรงคือสามารถลดค่าไฟฟ้าของศูนย์การเรียนรู้ได้ในระยะยาว

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุน

งบประมาณ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่สนับสนุนบุคลากรและอุปกรณ์ เครื่องมือในการวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท ผลิตไฟฟ้า จำกัด (มหาชน). ต้นทุนโดยรวมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์. สืบค้นจาก http://www.egco.com/th/energy_knowledge_solar10.asp เมื่อ1 มกราคม 2559.

[2] เนชั่นสุดสัปดาห์. 2015 ต้นทุนไฟฟ้าแสงอาทิตย์ต่ำกว่า 1 เหรียญ (30 บาท) แข่งขันน้ำมัน แก๊สและถ่านหินได้. สืบค้นจาก http://www.oknation.net/blog/loongjame/2011/10/03/entry-4 เมื่อ1 มกราคม 2559.

[3] มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2557. สืบค้นจาก http://www.eppo.go.th/nepc/kpc/kpc-147.html เมื่อ1 มกราคม 2559.

[4] กระทรวงพลังงาน. (2558).แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015) . สืบค้นจาก http://www2 . eppo.go.th/power/PDP2015/PDP2015.pdf เมื่อ 12 มีนาคม 2559

[5] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบ Feed-in Tariff.

[6] N. Gupta, G. F. Alapatt, R. Podila, R. Singh, K.F. Poole, (2009). "Prospects of Nanostructure-Based Solar Cells for Manufacturing Future Generations of Photovoltaic Modules". International Journal of Photoenergy 2009: 1. doi:10.1155/2009/154059 .

[7] BP Global – Reports and publications – Going for rid parity at the Wayback Machine (archived June 8, 2011). Bp.com. Retrieved on 2011-01-19.

[8] BP Global – Reports and publications – Gaining on the grid. Bp.com. Retrieved on 2011-01-19.

[9] Path to Grid Parity (Graphic)

[10] Wynn, Gerard (2007-10-19). "Solar power edges towards boom time". Reuters. Retrieved 2009-07-29.

[11] Solar industry celebrates grid parity, ABC News, Matt Peacock, staff,Wed Jun 20, 2012

[12] IRENA. (2015). Renewable Power Generation Costs in 2014.

[13] Solar at grid parity in most of world by 2017. http://reneweconomy.com.au/2015/solar-grid-parity-world-2017

สมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบกริด ที่ติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ณ ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทองจังหวัดพัทลุง

Performance of3.5 kWp Grid Connected Solar Rooftop PV System atSin Prae Thong Learning Center inPhatthalung Province

จอมภพ แววศักดิ์[1*]สมพล ชีวมงคลกานต์[1]อภิชาติ คงแป้น[2]อุทัย บุญดำ[3]และ ปราณี หนูทองแก้ว[1]

Jompob Waewsak[1*]Somphol Chewamongkonkarn[1], Apichart Kongpan[2]

Uthai Boondum[3]and Pranee Nutongkaew[1]

[1]ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

[2]บริษัทปตท.จำกัด (มหาชน)555 ถนนวิภาวดีรังสิตแขวงจตุจักรเขตจตุจักรจังหวัดกรุงเทพมหานคร10900

[3]ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทองตำบลลำสินธุ์อำเภอศรีนครินทร์จังหวัดพัทลุง 93000

[1]Research Center in Energy and Environment, Faculty of Science, Thaksin University,BanPrao, Pa Payom, Phatthalung, 93210

[2]PTT Public Company Limited, 555 VibhavadiRangsit Road, Chatuchak, Bangkok 10900

[3]Sin Prae Thong Learning Center, Lumsin, Srinakarin, Phatthalung 93000

*jompob@tsu.ac.th, 074-609600 ต่อ 2461, 074-693975

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง โดยใช้การจำลองแบบจากโปรแกรม PVSystV6.29ซึ่งอาศัยฐานข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์จากองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA)ผลจากการจำลองแบบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบแนวราบ มีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม โดยมีค่า 188.5 kWh/m^{2}โดยความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนแผงในแนวราบ 1 ปี มีค่า 1,911.4 kWh/m^2 มีค่าสูงในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน ระบบมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 12.15 และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 0.798

Abstract

The aim of this paper is to evaluate the performance of a 3.5 kWp grid connected solar rooftop that installed at Sin Prae Thong learning center in Phatthalung province. PVSyst V6.29 is applied along with NASA solar resource database in simulation of a 3.5 kWp grid connected solar rooftop system. Results show that the maximum global solar radiation intensity is of 188.5 kWh/m^2 and occurred in March. The accumulated global solar radiation intensity for whole year is 1,911.4 kWh/m^2 and the high intensity is occurred in Jan-Apr. Under these resource conditions, the system could produce energy with average system efficiency of 12.15% and the performance ratio is 0.798 respectively.

คำหลัก : เซลล์แสงอาทิตย์,สมรรถนะ, ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกริด

Keyword s: Solar Rooftop,Performance, Grid Connected Solar Rooftop PV System

1. บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยสารกึ่งตัวนำ เช่น อะมอร์ฟัส (Amorphous) ผลึกซิลิกอน (Polycrystalline)เป็นต้น ไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ปริมาณไฟฟ้าที่ได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความความเข้มของรังสีอาทิตย์และขนาดกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (วัตต์) เมื่อพิจารณาที่ปริมาณความเข้มแสงที่เท่ากัน แผงเซลล์ที่มีขนาดกำลัง (วัตต์) มากก็จะให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าแผงเซลล์ที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าน้อย โดยไฟฟ้าที่ได้จากแผงต้องผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับต่อไป การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ด้วยกัน 3 ระบบ คือระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) และระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นกรณีเฉพาะ เช่น Solar on grid, Solar off grid, Solar water pump, Solar street light เป็นต้น

ปัจจุบันมีหลายภาคส่วนให้ความสนใจในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้นทั้งในรูปแบบที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป (Solar PV Rooftop) ติดตั้งบนหลังคาอาคาร เล็ก-กลาง-ใหญ่ (Commercial Solar PV Rooftop) และโซล่าฟาร์ม (Solar Farm) เนื่องจากปัจจุบันต้นทุนการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำลงเรื่อยๆ โดยจากผลการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน พบว่าราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยของทุกเทคโนโลยี มีการปรับลดลงจาก 1.14 ดอลลาร์สหรัฐต่อวัตต์ ในเดือนธันวาคม 2554เหลือเพียง 0.84 ดอลลาร์สหรัฐต่อวัตต์ในเดือนตุลาคม 2555 ลดลงมาประมาณ 26% ส่งผลให้ต้นทุนโดยรวมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยในปี พ.ศ. 2555 ปรับตัวลดลงลดลงประมาณ 15% [1]

ประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์ 18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวันอย่างไรก็ตามพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่จังหวัดพัทลุงมีความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศไทยโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวันเนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่มีความชื้นและละอองน้ำตามปัจจัยฤดูกาลดังนั้นการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์อาจจะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าพื้นที่อื่นๆรวมทั้งสมรรถนะก็อาจจะมีค่าต่ำกว่าพื้นที่ภาคอื่นๆของประเทศไทยด้วยอย่างไรก็ตามเนื่องจากต้นทุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงซึ่งนับเป็นโอกาสอันดีที่จะนำเซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าในพื้นที่จังหวัดพัทลุงซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของรังสีอาทิตย์ต่ำเพื่อสาธิตให้เห็นถึงการใช้งานและใช้ประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หากผลการประเมินสมรรถนะออกมาเป็นที่น่าพึงพอใจก็จะสามารถยืนยันได้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไปโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทองนอกจากจะเป็นแหล่งเรียนรู้ทางด้านพลังงานทดแทนที่สำคัญในพื้นที่ภาคใต้ให้กับหน่วยงานภาครัฐและเอกชนแล้วยังเป็นแหล่งเรียนรู้ที่สำคัญให้กับนักเรียนนิสิตและนักศึกษารวมทั้งประชาชนที่สนใจทั่วไปในพื้นที่ละแวกใกล้เคียงอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง3.5 กิโลวัตต์สูงสุดในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลำสินธุ์อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่บนหลังคานั้น ในเวลากลางวันแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ไฟฟ้ากระแสตรงและจะ

ไหลไปสู่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Grid- Connected Type Inverter) ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในบ้าน เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC, 220โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต) ไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตได้จะไหลออกจากบ้านไปสู่มิเตอร์ขายไฟฟ้า (kilowatt meter selling meter) ที่ติดตั้งอยู่ที่เสาไฟฟ้าหน้าบ้านอย่างอัตโนมัติ สำหรับเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงอาทิตย์นั้นจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรืออาจมีแต่น้อยมาก แต่จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลออกมาจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ในขณะเดียวกันก็จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนจากเสาไฟฟ้าเข้ามาสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

<u>การประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะ</u>

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูง หมายถึงภายในหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ทำการตรวจวัดค่าจะมีกำลังไฟฟ้ามาก ยิ่งมีประสิทธิภาพสูงมากเท่าไรก็ยิ่งมีความคุ้มค่ามากขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์, โครงสร้างของแผง, ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ, อุณหภูมิ, ลักษณะการติดตั้งแผง และการดูแลรักษา

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จาก

$$\eta_A = \frac{E_A}{H_i A_c} \qquad (1)$$

เมื่อ η_A ประสิทธิภาพพลังงานแสงอาทิตย์
E_A พลังงานที่ผลิตได้ (kWp)
H_i พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ (kWh/m^2)
A_c พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

พลังงานที่ผลิตได้สามารถคำนวณได้จาก

$$Y_A = \frac{E_A}{P_O} \qquad (2)$$

เมื่อ Y_A พลังงานที่ผลิตได้ (kWh/kWp)
P_0 กำลังการผลิตติดตั้ง (Wp)

โดยสามารถคำนวณกำลังการผลิตอ้างอิงได้จาก

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \qquad (3)$$

เมื่อ Y_r พลังงานอ้างอิงที่ผลิตได้ (kWh/kWp)
G_{STC} ความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ STC (1,000 W/m^2)

ดังนั้นสามารถคำนวณพลังงานรวมที่ผลิตได้จาก

$$Y_f = \frac{E_{PV}}{P_0} \qquad (4)$$

เมื่อ Y_f พลังงานรวมที่ผลิตได้ (kWh/kWp)
E_{PV} พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)

อัตราส่วนสมรรถนะของระบบคำนวณได้จาก

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \qquad (5)$$

เมื่อ PR อัตราส่วนสมรรถนะของระบบ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นที่สนใจเพื่อลดค่าใช้จ่ายของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ค่าใช้จ่ายจำนวนมากของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นสัดส่วนกับพื้นที่แผงเซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าอาจจะลดพื้นที่ที่จำเป็นและเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการได้แม้ว่าตัวเซลล์เองมีค่าใช้จ่ายที่มากกว่าในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของเซลล์เปล่าที่จะเป็นประโยชน์จะต้องได้รับการประเมินภายใต้เงื่อนไขที่เป็นจริงพารามิเตอร์พื้นฐานที่จำเป็นต้องได้รับการประเมินก็คือกระแสลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด [2]

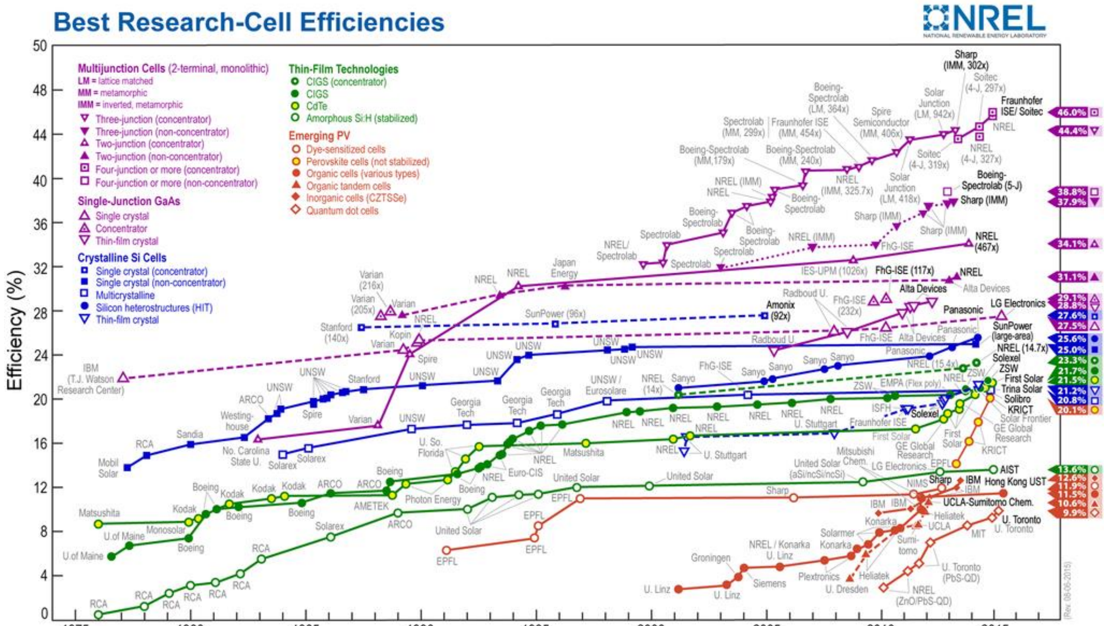
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ตัวหนึ่งอาจถูกแยกออกเป็นประสิทธิภาพการสะท้อน, ประสิทธิภาพทางอุณหพลศาสตร์, ประสิทธิภาพในการแยกตัวขนส่งประจุและประสิทธิภาพในการนำกระแส ประสิทธิภาพโดยรวมเป็นผลผลิตของประสิทธิภาพแต่ละตัวข้างต้น

เซลล์แสงอาทิตย์มักจะมีเส้นโค้งประสิทธิภาพแรงดันไฟฟ้าไม่อิสระ, ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิและมุมเงา (Shadow Angle)

เนื่องจากความยากลำบากในการวัดพารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ได้โดยตรง พารามิเตอร์อื่นๆจึงถูกวัดแทนเช่น ประสิทธิภาพทางอุณหพลศาสตร์, ประสิทธิภาพทางควอนตัม,ประสิทธิภาพควอนตัมแบบบูรณาการ, อัตราส่วน VOC และปัจจัยการเติมการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนเป็นส่วนหนึ่งของประสิทธิภาพควอนตัมภายใต้ "ประสิทธิภาพควอนตัมภายนอก" ความเสียหายจากการรวมตัวกัน สร้างส่วนหนึ่งของประสิทธิภาพควอนตัม, อัตราส่วน VOC และปัจจัยการเติม (Fill Factor) การสูญเสียจากแรงต้านทานส่วนใหญ่มีการแบ่งประเภทภายใต้ปัจจัยเติม แต่ยังสร้างส่วนเล็กๆน้อยๆของประสิทธิภาพควอนตัม, อัตราส่วน VOC

ปัจจัยเติมถูกกำหนดให้เป็นอัตราส่วนของพลังงานสูงสุดที่ได้รับจริงกับผลผลิตของแรงดันไฟฟ้า วงจรเปิดและกระแสลัดวงจรเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ รูปแบบของเซลล์แสงอาทิตย์เชิงพาณิชย์จะมีปัจจัยเติม> 0.70เซลล์ เกรด B มีปัจจัยเติมปกติระหว่าง 0.4 ถึง 0.7[3]เซลล์ที่มีปัจจัยเติมที่สูงจะมีความต้านทานอนุกรมเทียบเท่าที่ต่ำและมีความต้านทาน Shunt เทียบเท่าที่สูง ดังนั้นกระแสที่น้อยกว่าที่ถูกผลิตโดยเซลล์จะถูกกระจายไปเป็นการสูญเสียภายใน

อุปกรณ์ซิลิกอนผลึก Crystalline ทางเชื่อม p-n เดี่ยวตอนนี้จะเข้าใกล้ข้อจำกัดทางทฤษฎีของ ประสิทธิภาพทางพลังงานที่ 33.7 %, เป็นไปตามข้อสังเกตของขีดจำกัดของ Shockley-Queisserในปี 1961ในแบบสุดขั้ว ที่มีจำนวนอนันต์ของเลเยอร์ ข้อจำกัดที่สอดคล้องจะเป็น 86% โดยใช้แสงแดดเข้มข้น[4]ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ในห้องปฏิบัติการวิจัยต่างๆโดยประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แยกตามประเภทกระบวนการผลิตในแต่ละผู้ผลิต ดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่วัสดุและเทคโนโลยีที่หลากหลายใน ปี 2013 ต่อมาสถาบันเยอรมัน Fraunhoferประสบความสำเร็จสถิติโลกใหม่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพร้อยละ 44.7 สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์[5]



รูปที่ 1ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

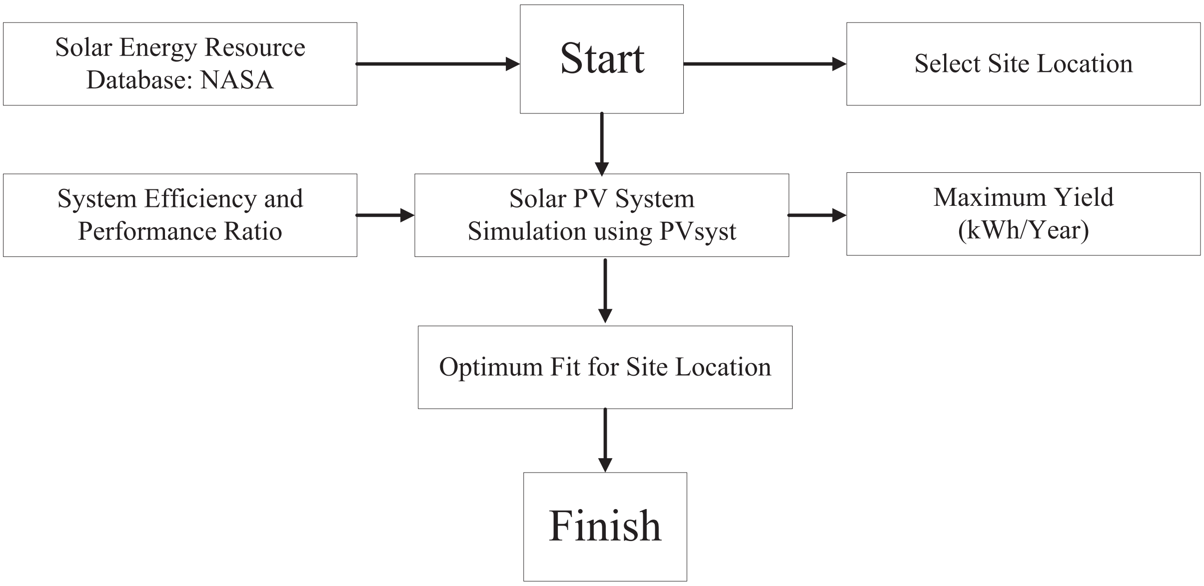
ที่มา: www.nrel.gov

ตารางที่ 1 10 อันดับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับการทดสอบและเป็นที่ยอมรับตาม AM1.5 spectrum (1000 W/m^2) at 25°C (IEC 60904-3: 2008, ASTM G-173-03 global). [6]

Classification	Efficiency (%)	Area (cm^2)	V_{oc}(V)	J_{sc}(mA/cm^2)	Fill factor (%)	Test centre	Description
Cells (silicon)							
Si (crystalline)	25.0 ± 0.5	4.00 (da)	0.706	42.7a	82.8	Sandia (3/99)b	UNSW p-type PERL top/rear contacts [7]
Si (crystalline)	25.1 ± 0.5c	4.01 (da)	0.7177	42.07d	83.24	FhG-ISE (8/15)	Fraunhofer n-type top/rear contacts [8]
Si (large crystalline)	25.1 ± 0.5	151.88 (ap)	0.7375	40.79d	83.49	FhG-ISE (9/15)	Kaneka, n-type top/rear contacts [9]
Si (large crystalline)	25.2 ± 0.5	153.49 (t)	0.7370	41.33d	82.71	FhG-ISE (10/15)	SunPower, n-type rear junction [10]
Cells (III-V)							
GaInP	20.8 ± 0.6	0.2491 (ap)	1.4550	16.04e	89.3	NREL (5/13)	NREL, high bandgap [11]
Cells (chalcogenide)							
CIGS (thin-film)	21.7 ± 0.7	0.4972 (da)	0.7463	36.59f	79.3	FhG-ISE (9/14)	ZSW on glass [12]
CIGSS (Cd free)	20.9 ± 0.7	0.5192 (ap)	0.6858	39.91g	76.4	FhG-ISE (3/14)	Showa Shell, on glass [13]
CdTe (thin-film)	21.5 ± 0.4	0.3455 (da)	0.8774	30.44h	79.2	Newport (12/14)	First Solar on glass [14]
CZTSS (thin-film)	12.6 ± 0.3	0.4209 (ap)	0.5134	35.21g	69.8	Newport (7/13)	IBM solution grown [15]
CZTS (thin-film)	9.1 ± 0.2	0.2409 (da)	0.701	20.84h	62.5	AIST (12/14)	Toyota Central R&D Labs [16]
Cells (other)							
Perovskite (thin-film)	20.1 ± 0.4i	0. 0955 (ap)	1.059	24.65f	77.0	Newport (11/14)	KRICTj [17]
Organic (thin-film)	11.5 ± 0.3i	0.0429 (ap)	0.7907	19.74d	73.5	Newport (5/15)	Hong Kong UST [18]

4. ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยใช้ฐานข้อมูลของ NASA-SSE เพื่อนำมาเป็นข้อมูลอินพุทในการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด โดยอาศัยการจำลองแบบจากโปรแกรม PVSystโดยการจำลองแบบจะกำหนดประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ Grid Connected เช่นทรัพยากร, ศักยภาพพลังงาน, การปรับขนาดชิ้นส่วนระบบการผลิตพลังงานจากและการสูญเสียของระบบซึ่งแสดงระเบียบวิธีวิจัยดังรูปที่2 โดยแสดงตารางสรุปคุณลักษณะของระบบดังตารางที่ 2



รูปที่ 2ระเบียบวิธีวิจัย

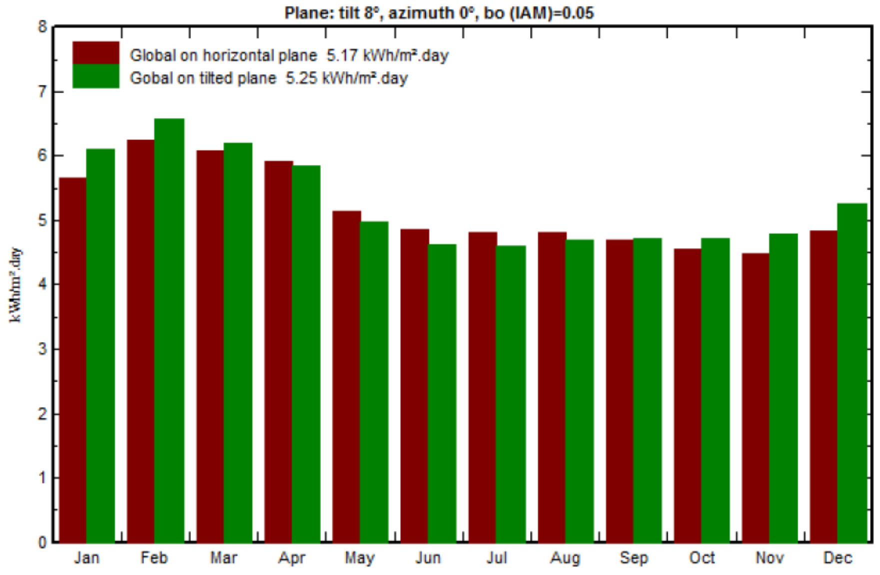
ตารางที่ 2 คุณลักษณะของระบบที่ทำการติดตั้ง

พารามิเตอร์	คุณลักษณะ
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	ผลิตภัณฑ์SHARP 250 Wp จำนวน 14แผง = 3,500 Wp Pmax250 W Voc 37.39 V Isc8.81 A Vmpp30.68 Impp8.15 A
การเชื่อมต่อ	ต่ออนุกรมจำนวน14 แผง
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)	ABBINVERTER (PVS300-TL-3300W-2) VDC,max 900 V VAC, V 230 V IDC, max 10.5 A IAC, max 15.6 A
DC BREAKER	20AT, 1000 V
FUSE	12A, 1000 V

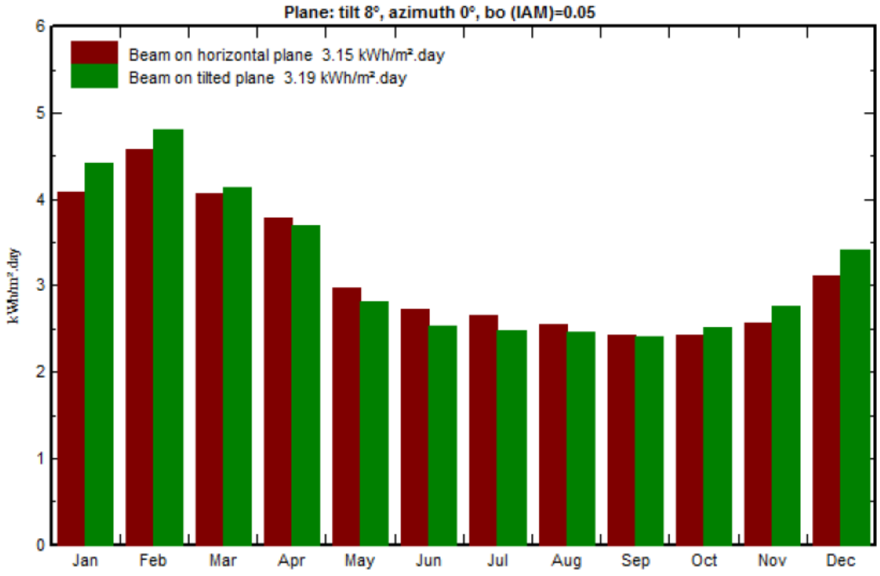
5. ผลการวิจัย

การจำลองแบบจากโปรแกรม PVSyst โดยอาศัยข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากฐานข้อมูล NASA-SSE เพื่อประเมินสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุดพื้นที่ ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง แสดงผลการคำนวณรังสีอาทิตย์รายเดือนดังรูปที่ 3-5 โดยรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงปริมาณรังสีรวม (Total or Global Radiation) ซึ่งเป็นผลรวมของรังสีตรง (Beam) และรังสีกระจาย(Diffuse Radiation) ที่ตกกระทบผิวรับแสง โดยจากการคำนวณพบว่าค่ารังสีรวมแนวราบมีค่า 5.17kWh/m^2.dayและรังสีรวมแนวเอียงมีค่า

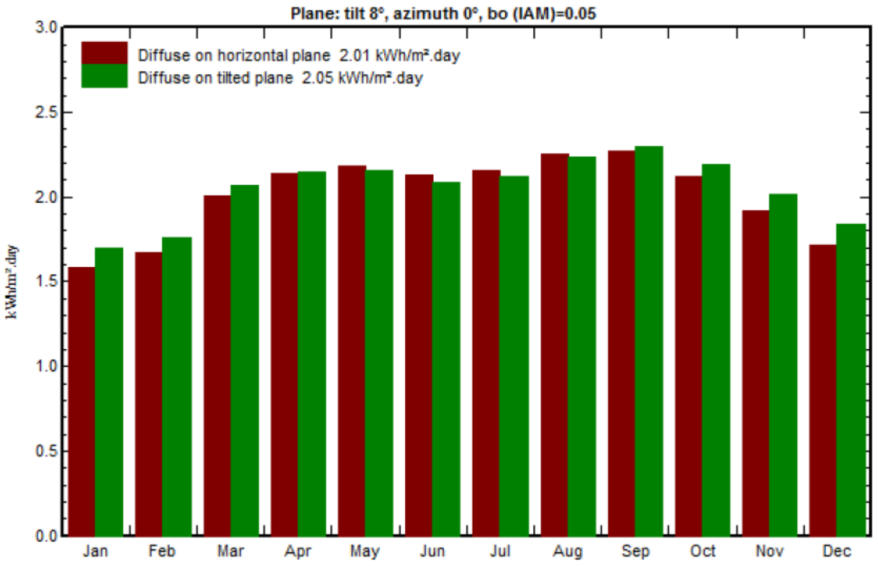
5.25kWh/m^2.day โดยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าสูงในเดือนมกราคม-เมษายน ซึ่งมาจากรังสีตรงที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกลงบนผิวรับแสงทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์มีค่าความเข้มรังสีดังรูปที่ 4 สำหรับรังสีกระจายซึ่งเป็นรังสีที่มาจากทุกทิศทุกทางของทองฟ้านั้น จะมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงในเดือนเมษายน - ตุลาคม ดังรูปที่ 5



รูปที่ 3ค่ารังสีอาทิตย์รวม (Global) รายเดือน บนพื้นราบและบนพื้นเอียง พื้นที่ ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง

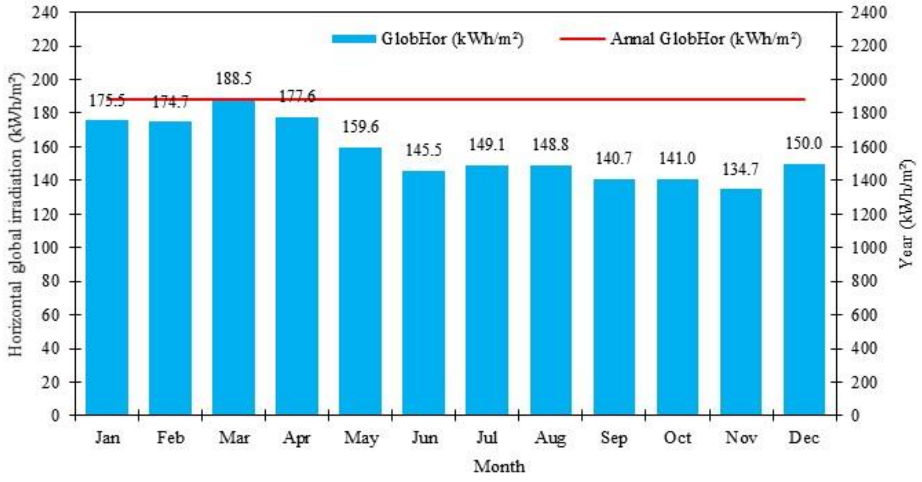


รูปที่ 4ค่ารังสีอาทิตย์ตรง (Beam) รายเดือน บนพื้นราบและบนพื้นเอียง พื้นที่ ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง

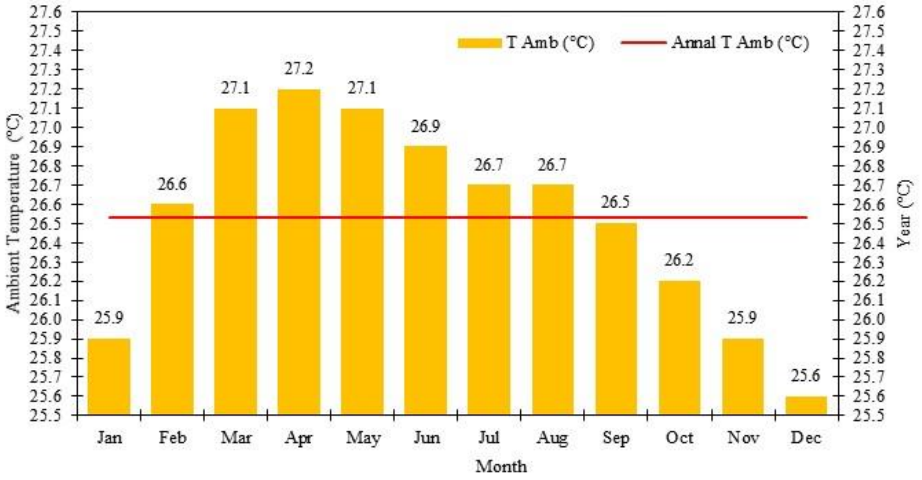


รูปที่ 5ค่ารังสีอาทิตย์กระจายราย (Diffuse) รายเดือน บนพื้นราบและบนพื้นเอียง พื้นที่ ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในพื้นที่ ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง โดยพิจารณาค่ารังสีรวมแนวราบ พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตกกระทบมีค่าสูงสุด 188.5 kWh/m^2 ในเดือนมีนาคม โดยมีค่ารังสีรวมแนวราบที่ตกกระทบรวมทั้งปี 1,885.8 kWh/m^2 แสดงค่ารังสีรวมแนวราบที่ตกกระทบต่อพื้นที่ดังรูปที่ 6 โดยพื้นที่ ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง มีอุณหภูมิแวดล้อมแสดงดังรูปที่ 7ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิแวดล้อมในพื้นที่จะมีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม โดยมีค่าเฉลี่ยทั้งปี 26.53 องศาเซลเซียส



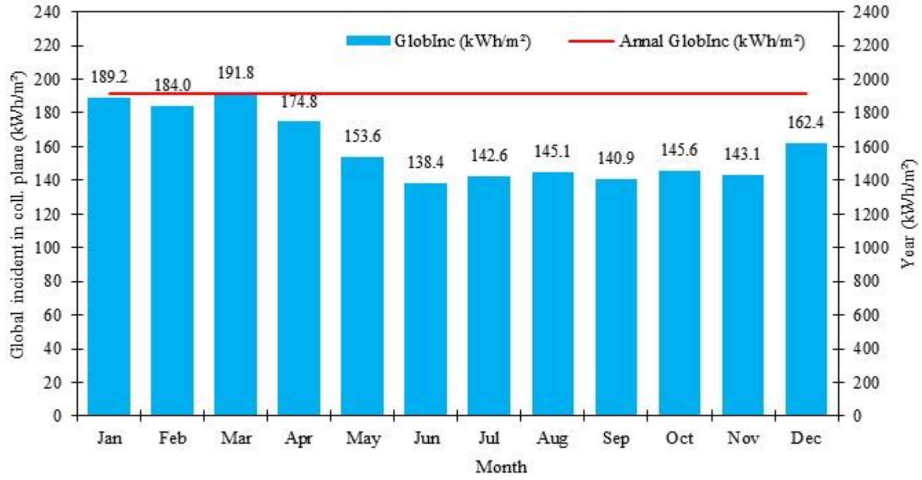
รูปที่ 6รังสีรวมบนพื้นราบ



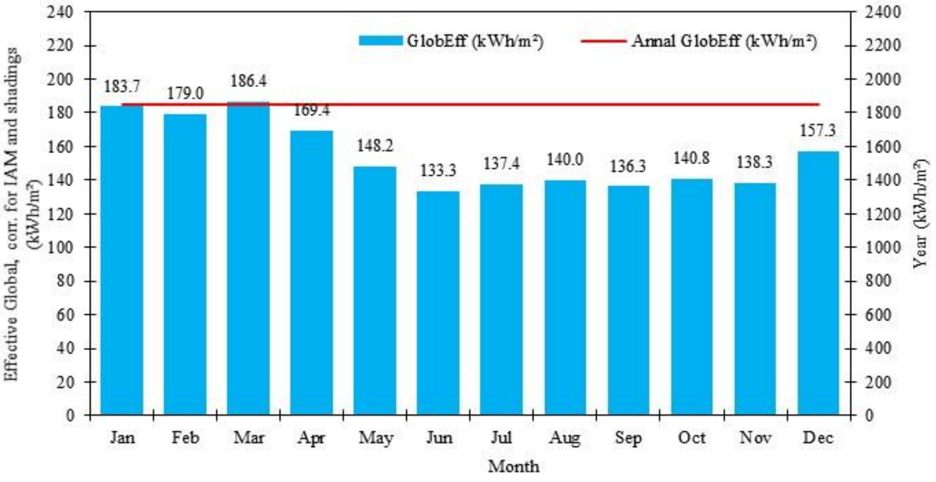
รูปที่ 7 อุณหภูมิแวดล้อม

โดยความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนแผงในแนวราบใน 1 ปี มีค่า 1,911.4 kWh/m^{2}พบว่าค่าความเข้มรังสีมีค่าสูงในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน ดังรูปที่ 8 และเมื่อมีการปรับเปลี่ยนมุมและการบังเงาส่งผลให้ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีค่า 1,850.2 kWh/m^2 ดังรูปที่ 9สำหรับค่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดนั้นมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 ปี มีค่า 5,553.8 kWhและพลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดใน 1 ปี มีค่า 5,538.3 kWhแสดงดังรูปที่ 10-11

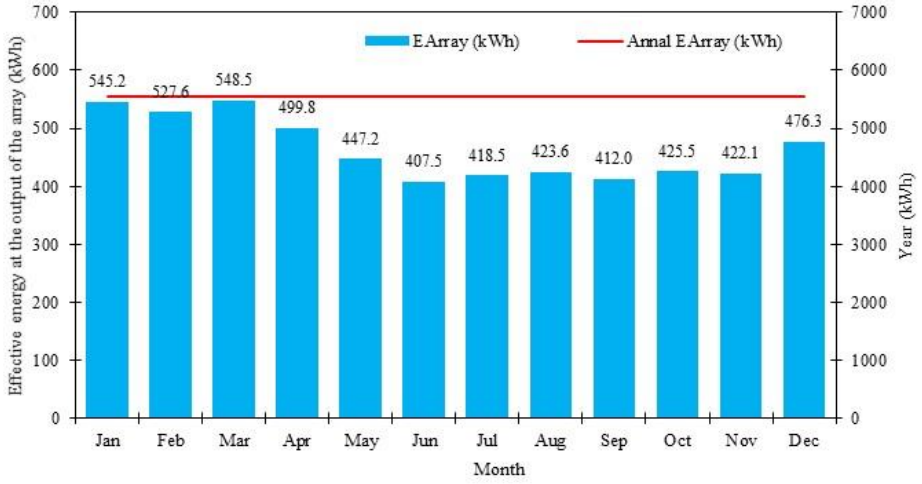
สำหรับประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานของระบบจากการจำลองแบบโดยใช้ PVsyst พบว่าประสิทธิภาพระบบเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับร้อยละ 12.15 และแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับร้อยละ 12.64 โดยแสดงประสิทธิภาพรายเดือนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบดังรูปที่ 12-13



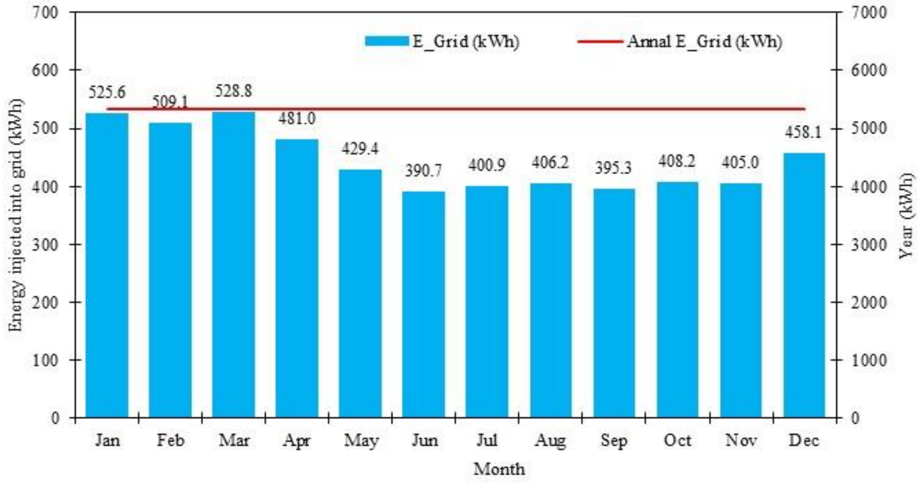
รูปที่ 8ความเข้มแสงรวมที่ตกกระทบแผงในแนวราบ



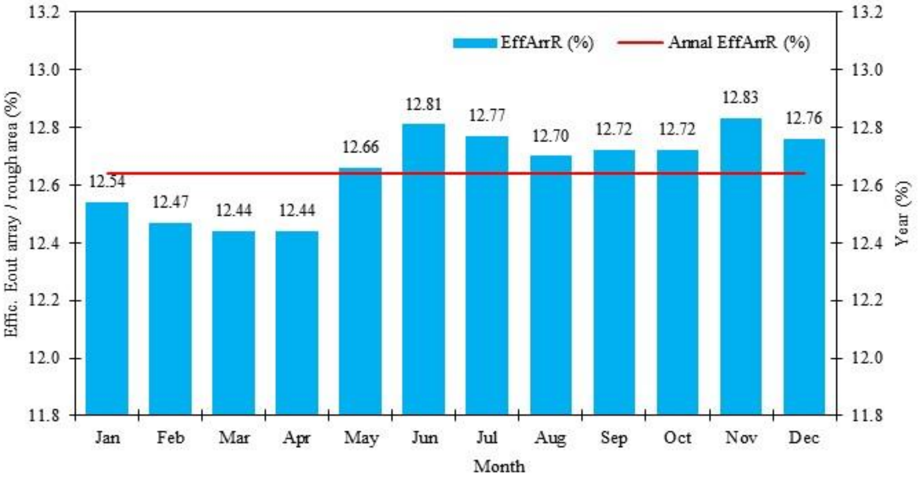
รูปที่ 9 ค่าความเข้มรังสีรวมจากการปรับเปลี่ยนมุมและการบังเงา



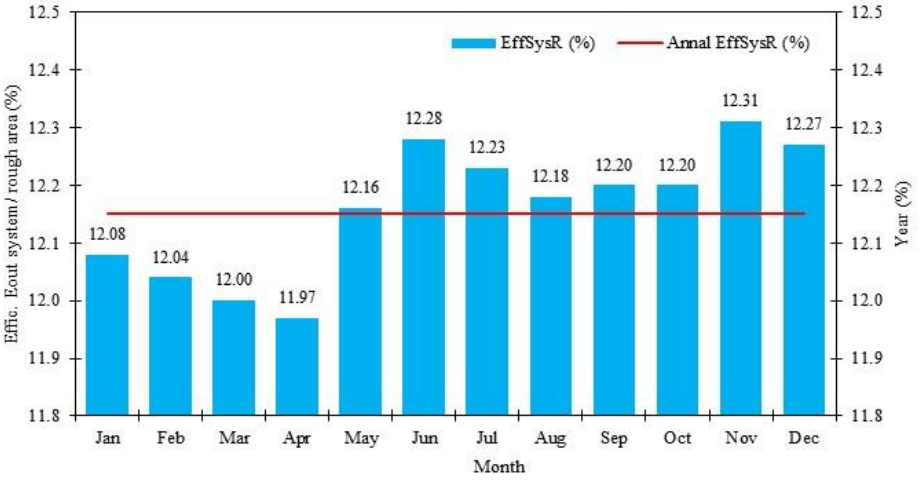
รูปที่ 10 พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 11 พลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบกริด

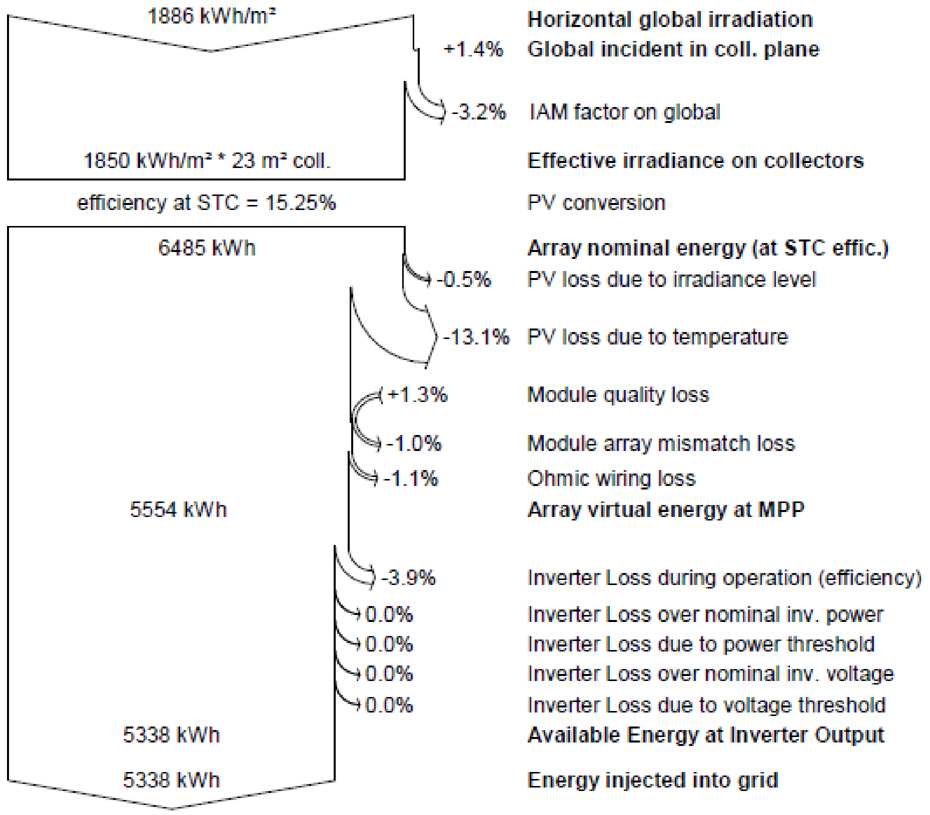


รูปที่ 12 ประสิทธิภาพพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่

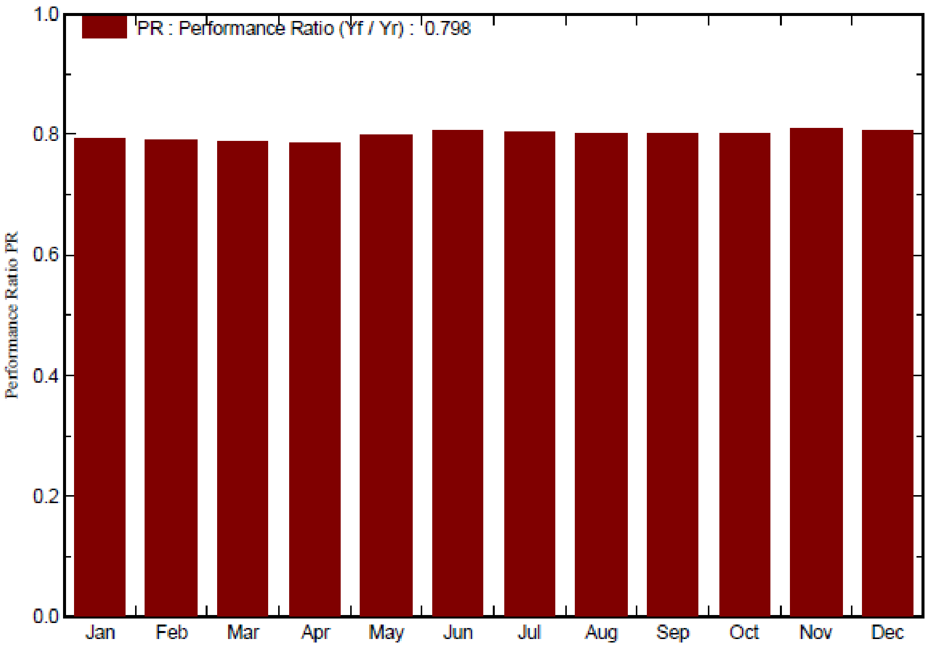


รูปที่ 13 ประสิทธิภาพพลังงานจากระบบบนพื้นที่

การจำลองแบบโดยใช้ PVSyst แสดงให้เห็นการสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด พื้นที่ ต.ลำสินธุ์อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง ตลอดทั้งปี ดังรูปที่ 14 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสูญเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ คิดเป็นร้อยละ 13.1 รองลงมาเป็นการสูญเสียจากการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ร้อยละ 3.9 โดยระบบมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 0.798 แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 15



รูปที่ 14การสูญเสียของระบบ



รูปที่ 15 อัตราส่วนสมรรถนะ

6. อภิปรายผลการวิจัย

การจำลองแบบจากโปรแกรม PVSyst โดยอาศัยข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากฐานข้อมูล NASA-SSE เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด พื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์ทอง ต.ลำสินธุ์อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง พบว่า ค่ารังสีรวมแนวราบมีค่า 5.17kWh/m^2.day และรังสีรวมแนวเอียงมีค่า 5.25kWh/m^2.day โดยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าสูงในเดือนมกราคม-เมษายน ซึ่งมาจากรังสีตรง สำหรับรังสีกระจายนั้นจะมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงในเดือนเมษายน-ตุลาคม

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบแนวราบ มีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม เท่ากับ 188.5 kWh/m^2 โดยมีค่ารังสีรวมที่ตกกระทบแนวราบรวมทั้งปี 1,885.8 kWh/m^2 โดยพื้นที่ ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง นั้นมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 26.53 องศาเซลเซียส โดยจะมีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม

ความเข้มแสงรวมที่ตกกระทบบนแผงในแนวราบ 1 ปี มีค่า 1,911.4 kWh/m^{2}โดยมีค่าสูงในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และเมื่อทำการปรับเปลี่ยนมุม และการบังเงา ส่งผลให้ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงมีค่าลดลงเป็น 1,850.2 kWh/m^2

สำหรับการผลิตพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ผลจากการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรม PVSyst พบว่าค่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดนั้นเกิดการสูญเสียเล็กน้อย โดยพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 ปี มีค่า 5,553.8 kWh ในขณะที่พลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดใน 1 ปี มีค่า 5,538.3 kWh เกิดการสูญเสีย (Loss)15.5kWh โดยระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 12.15 และแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 12.64 ในส่วนของการสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด พื้นที่ต.ลำสินธุ์อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง ตลอดทั้งปี ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ คิดเป็นร้อยละ 13.1 รองลงมาเป็นการสูญเสียจากการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าร้อยละ 3.9 โดยระบบมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีร้อยละ 79.8

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากชนิดผลึกรวมPolycrystalline เป็น ชนิดผลึกเดี่ยว Monocrystallineเพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี ผลการจำลองแบบพบว่า อัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีลดลงเพียงเล็ก โดยแผงชนิด Monocrystalline มีค่าร้อยละ 79.2

7. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการประเมินสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุดในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์ทอง ต.ลำสินธุ์อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง โดยอาศัยการจำลองแบบจากโปรแกรม PVSyst

ผลจากการจำลองแบบ พบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ที่ตกกระทบแนวราบมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม โดยพื้นที่ ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง นั้นมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 26.53 องศาเซลเซียส มีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม ระบบมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 12.15 และแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 12.64 การสูญเสีย (Loss) ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รองลงมาเป็นการสูญเสียจากการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมPolycrystalline มีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีสูงกว่าชนิดผลึกเดี่ยว Monocrystallineเล็กน้อย

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทองต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่สนับสนุนบุคลากรและอุปกรณ์ เครื่องมือในการวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท ผลิตไฟฟ้า จำกัด (มหาชน). ต้นทุนโดยรวมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์. สืบค้นจาก http://www.egco.com/th/energy_knowledge_solar 10.asp เมื่อ1 มกราคม 2559.

[2] N. Gupta, G. F. Alapatt, R. Podila, R. Singh, K.F. Poole. (2009). Prospects of Nanostructure-Based Solar Cells for Manufacturing Future Generations of Photovoltaic Modules. International Journal of Photoenergy 2009: 1. doi:10.1155/2009/154059.

[3] "T.Bazouni: What is the Fill Factor of a Solar Panel". Retrieved 2009-02-17.

[4] A. De Vos, "Detailed balance limit of the efficiency of tandem solar cells", Journal of Physics D: Applied Physics Volume 13, Issue 5 (14 May 1980), page 839-846 doi:10.1088/0022-3727/13/5/018

[5] "Solar cell hits new world record with 44.7 percent efficiency". Retrieved 2013-09-26.

[6] Martin A. Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa, Wilhelm Warta, Ewan D. Dunlop. (2015). Solar cell efficiency tables (version 47). 24 November 2015 (DOI: 10.1002/pip.2728)

[7] Zhao J, Wang A, Green MA, Ferrazza F. Novel 19.8% efficient “honeycomb” textured multicrystalline and 24.4% monocrystalline silicon solar cells. *Applied Physics Letters* 1998; **73**: 1991–1993.

[8] Glunz SW, Feldmann F, Richter A, Bivour M, Reichel C Steinkemper H Benick J, Hermle M. The irresistible charm of a simple current flow pattern—25% with a solar cell featuring a full-area back contact. Paper 2BP.1.1, European Photovoltaic Solar Energy Conference 2015, Hamburg, September 2015.

[9] Yamamoto K. 25.1% efficiency Cu metallized heterojunction crystalline Si solar cell. 25th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Busan, Korea, November 2015.

[10] Swanson R The role of modeling in SunPower's commercialization efforts. Presented at challenges in PV science, technology, and manufacturing: a workshop on the role of theory, modeling and simulation, Purdue University, August 2–3, 2012.

[11] Geisz JF, Steiner MA, Garcia I, Kurtz SR, Friedman DJ. Enhanced external radiative efficiency for 20.8% efficient single-junction GaInP solar cells. *Applied Physics Letters* 2013; 103(4): 041118.

[12] Powalla M, Jackson P, Hariskos D, Paetel S, Witte W, Wuerz R, Lotter E, Menner R, Wischmann W. CIGS thin-film solar cells with an improved efficiency of 20.8%. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3AO.4.2, Amsterdam, September 2014.

[13] Nakamura M, Yamaguchi K, Chiba, Y, Hakuma H, Kobayashi T, Nakada T. Achievement of 19.7% efficiency with a small-sized $Cu(InGa)(SeS)_2$ solar cells prepared by sulfurization after selenizaion process with Zn-based buffer. 39th IEEE PVSC, Tampa, USA, June 18, 2013.

[14] PV magazine, First Solar raises bar for CdTe with 21.5% efficiency record, 6 February 2015.

[15] Wang W, Winkler MT, Gunawan O, Gokmen T, Todorov TK, Zhu Y, Mitzi DB. Device characteristics of CZTSSe thin-film solar cells with 12.6% efficiency. *Advanced Energy Materials*. 2013 (DOI: 10.1002/aenm.201301465).

[16] Tajima S, Asahi R, Isheim D, Seidman DN, ItohT, Hasegawa M, Ohishi K. Atom-probe tomographic study of interfaces of Cu_2ZnSnS_4 photovoltaic cells. *Citation: Applied Physics Letters* 2014; 105: 093901(DOI: 10.1063/1.4894858).

[17] Noh JH, Im SH, Heo JH, Mandal TH, SeokSI. Chemical management for colorful, efficient, and stable inorganic–organic hybrid nanostructured solar cells. *Nano Letters* 2013;13: 1764–1769.

[18] Hu H, Jiang K, Yang G, Li Z, Lin H, Liu Y, Zhao J, Zhang J, Huang F, Qu Q, Ma W, Yan H. Terthiophene-based D-A polymer with an asymmetric arrangement of alkyl chains that enables efficient polymer solar cells. *Journal of the American Chemical Society* 2015; published online, (DOI: 10.1021/jacs.5b08556).

การศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค: กรณีศึกษาการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกอง

A study and mathematical modeling of PEA's Electricity distribution system: A case study of the PEA Ban Hin Kong

สุรินทร์ แหงมงาม [1*], ศศิวรรณ อินทรวงศ์[2],กฤษฎา อาจต้น[1],
มนัส อุทัยประดิษฐ์แก้ว[1], ภูวดล วัฒนากรรุ่งเรือง[1], ณัฐวุฒิ หอมสิน[1]

SurinNgaemngam, SasiwanIntarawong, KritsadhaArjton,
ManutUtaipradit, PuvadolWattanakornrungruang,NattavutHomsin

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
[2]สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
*Email : surin.n@en.rmutt.ac.th, 02-549-3420

บทคัดย่อ

ปัจจุบันจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น แต่ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เพียงพอสำหรับที่จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก ทำให้การไฟฟ้าภูมิภาคต้องทำการศึกษาและหาวิธีการในการจัดการกับปัญหาดังกล่าว การเปลี่ยนขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า หรือติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการแก้ปัญหา แต่จากการวิเคราะห์ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกองพบว่ายังมีหม้อแปลงอีกหลายตัวที่ยังสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ งานวิจัยจึงนำเสนอการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองวิธีการระบบส่งจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าการไฟฟ้าบ้านหินกอง อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี เป็นกรณีศึกษาผลการจำลองพบว่า การส่งแรงดันไฟฟ้าจากหม้อแปลงที่อยู่ใกล้ผู้ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด โดยมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุดและมีพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

Abstract

Currently, there is increasing of number of power user that is responsibility of PEA. Therefore, PEA has to conduct a study and find the method to solving this problem. But the current size of transformer is insufficient for supporting to large number of power users. Changing size of transformer or install new one is one of the alternative methods for solving this problem. But from the analyzing of PEA's Ban Hin Kong distribution system found that there are many transformers that locate in another area can support to power user. This research proposes a study and mathematical modeling to simulate the PEA's distribution system by using the distribution system of PEA's Ban Hin Kong , NongKhae district, Saraburi province as a case study. The simulation result shows that distributing the electricity from nearest transformer to power user are sufficient for power user with least cost.

คำหลัก :การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ บ้านหินกอง

Keywords :PEA, Mathematical model, Ban Hin Kong, Power Distribution

1. บทนำ

จากการศึกษาความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ไม่เต็มประสิทธิภาพซึ่งเกิดจากการที่มีผู้ใช้ไฟเพิ่มขึ้นระยะทางไกลขึ้น และเกิดค่าใช้จ่ายอื่นๆ เพิ่มขึ้นทำให้ไม่สารมารถจ่ายพลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟได้ตามต้องการ จากปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทำการศึกษาระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกองและศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการศึกษาข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกองว่าในปัจจุบันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่เท่าไรเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้นในโครงการและใช้เป็นเงื่อนไขในการออกแบบ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการหาค่าต่ำที่สุดของค่าใช้จ่ายและระยะทางของมิเตอร์กับหม้อแปลงไฟฟ้าดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาทำการวิเคราะห์ หาระยะทาง หาจำนวนเสาไฟฟ้า หาราคาเสา หาราคา Rack หาราคาสายไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ซึ่งหม้อแปลงหนึ่งลูกสามารถจ่ายโหลดได้ไม่เกินหนึ่งกิโลเมตร

เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งนี้ได้ทำการออกแบบพัฒนาแบบจำลองตามขั้นตอนดังกล่าวและทดลองดำเนินการวิเคราะห์กับข้อมูลจริงเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้และถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและหน่วยงานอื่นที่มีลักษณะภารกิจที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนพัฒนาระบบจำหน่ายให้บริการทรัพยากรผ่านระบบโครงข่ายเพื่อนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม GAMS

2.2 เพื่อศึกษาระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกอง

2.3 เพื่อนำแบบจำลองช่วยในการวิเคราะห์วางแผนระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกอง

3. ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

3.1 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกอง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกอง เป็นรัฐวิสาหกิจด้านสาธารณูปโภค สังกัดกระทรวง มหาดไทย ก่อตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พุทธศักราช 2503 เมื่อวันที่ 28 กันยายน พุทธศักราช 2503 มีภาระหน้าที่หลัก คือ การผลิต จัดให้ได้มา จัดส่งและจำหน่ายกระแส ไฟฟ้าแก่ประชาชน ธุรกิจและเขตอุตสาหกรรมต่าง ๆ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาบ้านหินกอง สังกัดการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาคกลาง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีนิคมอุตสาหกรรม จำนวน 1 แห่ง คือ นิคมอุตสาหกรรมหนองแค และมีพื้นที่รับผิดชอบดังรูปที่ 5 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกองรับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้า จำนวน 3 สถานี ดังนี้ คือ 1) สถานีไฟฟ้าโคกแย้ 2) สถานีไฟฟ้าสระบุรี 4 3) สถานีไฟฟ้าวิหารแดง

3.2 ระบบจำหน่ายที่การไฟฟ้าบ้านหินกองรับผิดชอบ

การไฟฟ้าบ้านหินกองมีระบบจำหน่ายที่รับผิดชอบ ดังนี้ 1) ระบบ 115 กิโลโวลต์ จำนวน30 วงจร/km2) ระบบ 22 กิโลโวลต์ จำนวน380 วงจร/km3) ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ จำนวน 700วงจร/kmการพิจารณาการติดตั้งหม้อแปลงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกองจะพิจารณาโดยดูความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าจากผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อไม่สามารถจ่ายแรงพลังงานได้ตามมาตรฐานหรือโหลดหม้อแปลงเกิน 80% จะทำการติดตั้งหม้อแปลงใหม่หรือเพิ่มขนาดของหม้อแปลงมีพื้นที่รับผิดชอบเขตติดต่อ 7 อำเภอ 28 ตำบล 162 หมู่บ้าน ดังนี้อำเภอหนองแค จำนวน 11 ตำบล 95หมู่บ้านอำเภอวิหารแดง จำนวน 6 ตำบล 54หมู่บ้านอำเภอหนองแซง จำนวน 3 ตำบล 12หมู่บ้านอำเภอภาชี จำนวน 1 ตำบล 1 หมู่บ้าน

3.3 แหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้าบ้านหินกองรับมา

1)ผลิตเองจะใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นตัวขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีกำลังผลิตตั้งแต่ 25kW ถึง1250kW ระบบจ่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก 400/230V โดยไม่ต้องผ่านหม้อแปลงเพิ่มแรงดัน (โรงไฟฟ้าแบบพัฒนาการ) ระบบจ่ายไฟฟ้าขนาดปานกลางและขนาดใหญ่ (ตั้งแต่ 300kW-1250kW) ใช้ ติดตั้งในโรงจักรเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับชุมชนอำเภอหรือเมืองใหญ่จะจ่ายไฟออก 400V, 3500V, 11kV โดยต้องจ่ายไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้าแต่การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลมีต้นทุนการผลิตสูงจึงหันมาเชื่อมโยงระบบแรงสูงจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯแทนโรงจักรดีเซลเดิม

2)ซื้อจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่มาจากการซื้อไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตซึ่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเป็นผู้ตั้งสถานีแปลงแรงดันและติดตั้งหม้อแปลงลดระดับแรงดันสูงจากระบบสายส่งแรงสูง 230kV, 115kV, 69kV แปลงลงมาเป็นแรงดันตามระบบการจำหน่ายแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3)ซื้อจากการไฟฟ้านครหลวงในเขตที่อยู่ใกล้เขตจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงจะซื้อกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง (จังหวัดปทุมธานี)

4)ซื้อจากการพลังงานแห่งชาติโดยการพลังงานแห่งชาติได้สร้างเขื่อนและโรงจักรพลังน้ำขนาด 1MW เพื่อจ่ายให้กับจังหวัดแม่ฮ่องสอน

4. วิธีการดำเนินงาน

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โครงสร้างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การส่งจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งในการจำลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า (T1…Tn) และมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟ (M1…Mn) สมการที่ใช้ในการหาค่าติดตั้งต่ำสุดแสดงดังสมการที่ 1

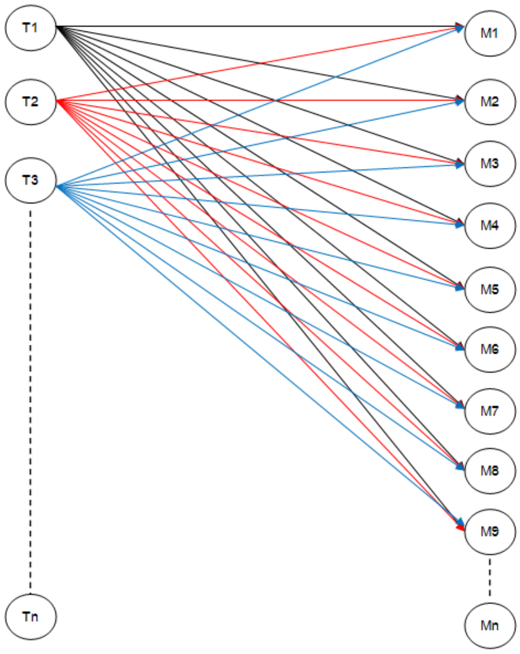
$$Minimize\ \ TTCost = \sum_{i,j} TTCO_{i,j} \qquad (1)$$

โดยที่

$TTCost$ ค่าติดตั้งทั้งหมด

$i = TR$ sets ของหม้อแปลงไฟฟ้า

$j = PU$ sets ของผู้ใช้ไฟ



เมื่อ T1…Tn: หม้อแปลงไฟฟ้า

M1…Mn: ผู้ใช้ไฟฟ้า

รูปที่ 1 หม้อแปลงจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า

Subject to:

(ก) หาจำนวนเสาไฟฟ้าและค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ

$$TTP_{i,j} = D_{i,j} / P2P \qquad (2)$$

$$TTCO_{i,j} = TTP_{i,j} \cdot PO \qquad (3)$$

$$D_{i,j} = \sqrt{\left((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2\right)} \qquad (4)$$

TTP จำนวนเสาทั้งหมด

P2P ระยะห่างระหว่างเสา

TTCO ค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ

$D_{i,j}$ ระยะทางจากหม้อแปลงถึงผู้ใช้ไฟ

x_1, y_1 ตำแหน่งที่ตั้งหม้อแปลง

x_2, y_2 ตำแหน่งมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟ

(ข) ขีดจำกัดด้านพลังงานไฟฟ้า

$$\sum EESP2DM_{i,j} \leq SPEE_i \quad (5)$$

$EESP2DM_{i,j}$ ปริมาณไฟฟ้าที่จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟ
$SPEE_i$ พิกัดของหม้อแปลง

(ค) ขีดจำกัดของปริมาณความต้องการไฟฟ้าด้านผู้ใช้

$$\sum EEDM2CS_{i,j} = DMCS_{j,BM} \quad (6)$$

$EEDM2CS_{i,j}$ ปริมาณไฟฟ้าที่จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟ
$EECS_{j,BM}$ ความต้องการพลังงานไฟฟ้า
EE พลังงานไฟฟ้า

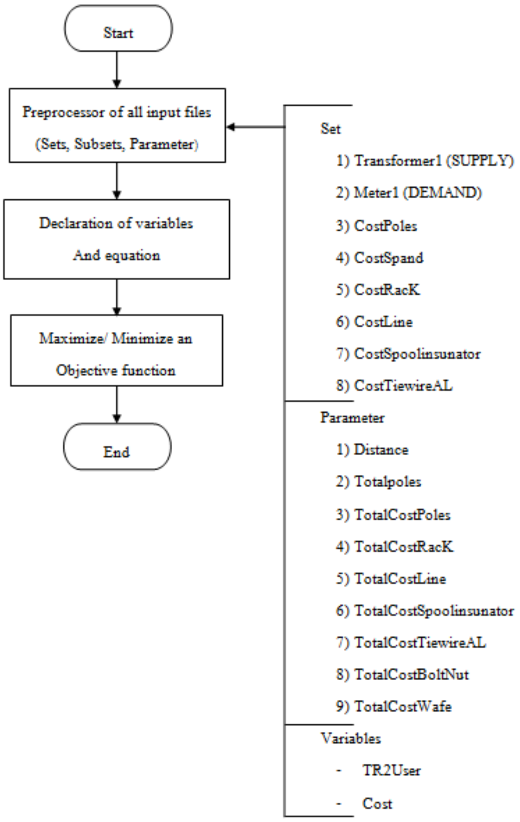
4.2 การนำเข้าข้อมูลเพื่อใช้ในแบบจำลอง

รูปที่ 2 แสดงการนำเข้าข้อมูลจะขั้นตอนการจำลองทางคณิตศาสตร์

4.3 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการจำลองทางคณิตศาสตร์ ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค: กรณีศึกษาการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกองมี รายละเอียดดังนี้

- จำนวนเสาไฟฟ้า
- ระยะห่างของเสาไฟฟ้า 40 เมตร ต่อต้น
- ราคาเสาไฟฟ้า
- ราคาแร็ค
- ราคาสายไฟฟ้า



รูปที่ 2การนำเข้าข้อมูลและขั้นตอนการจำลอง

4.3.1การหาระยะทาง ในการหาระยะทางจากหม้อแปลงไปยังมิเตอร์ผู้ใช้ไฟแต่ละลูกสามารถหาได้โดยใช้สมาการที่ 4 ตัวอย่างระยะทางแสดงดังตารางที่ 1

4.3.2การหาจำนวนเสาโดยคิดจากตำแหน่งของหม้อแปลงไปยังมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น จากหม้อปลงไปยังมิเตอร์มีระยะทาง 700 เมตร ดังนั้นจากสมการ(L/40)+1 จะได้จำนวนเสาเท่ากับ (700/40)+1 = 18.5 ต้น ต้น L คือ ระยะทาง ตัวอย่างค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1ระยะทางจากหม้อแปลงไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

ลำดับที่	M1	M2	M3
T1	7085	5407	8679
T2	6298	8451	6711
T3	8519	8661	10836
T4	7949	7833	10253
T5	7959	10114	8002
T6	7477	9625	7433
T7	8673	10797	8370
T8	10643	12772	10329
T9	2821	1874	4760
T10	11610	13696	11034

ตารางที่ 2 จำนวนเสาไฟฟ้าจากหม้อแปลงไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

ลำดับที่	M1	M2	M3
T1	177	135	216
T2	157	211	167
T3	212	216	270
T4	198	195	256
T5	198	252	200
T6	186	240	185
T7	216	269	209
T8	266	319	258
T9	70	46	119
T10	290	342	275

4.3.3หาราคาเสาโดยคิดจากตำแหน่งของหม้อแปลงไปยังมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น จากหม้อปลงไปยังมิเตอร์มีระยะทาง 700 เมตร จำนวนเสาเท่ากับ 19 ต้นดังนั้นราคาเสาเท่ากับ 19 $\times$ 2,500 = 47,500 บาท ตัวอย่างผลการคำนวณจะแสดงดังตารางที่ 3

4.3.4หาราคาแร็คโดยคิดตามจำนวนเสาไฟฟ้า เช่น มีเสาจำนวน 18 ต้น ดังนั้นราคา Rack เท่ากับ 18$\times$120 = 2,160 บาทตัวอย่างราคาแร็คดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ตัวอย่างราคาเสาไฟฟ้าจากหม้อแปลงไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

ลำดับที่	M1	M2	M3
T1	442859	337957	542494
T2	393634	528247	419485
T3	532454	541328	677298
T4	496839	489576	640855
T5	497459	632125	500126
T6	467331	601593	464623
T7	542063	674831	523147
T8	665191	798309	645622
T9	176358	117138	297559
T10	725676	856059	689660

ตารางที่ 4 ตัวอย่างราคาสายไฟฟ้าจากหม้อแปลงไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

ลำดับที่	M1	M2	M3
T1	1062862	811098	1301986
T2	944723	1267793	1006764
T3	1277890	1299189	1625517
T4	1192415	1174983	1538054
T5	1193904	1517102	1200304
T6	1121595	1443825	1115097
T7	1300952	1619596	1255555
T8	1596461	1915943	1549495
T9	423261	281131	7141432
T10	1741624	2054543	1655185

4.3.5 การหาราคาสายไฟฟ้าโดยคิดจากตำแหน่งของหม้อแปลงไปยังมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น จากหม้อปลงไปยังมิเตอร์มีระยะทาง 700 เมตร ดังนั้นจากสมการ (L$\times$150)$\times$n จำนวนเสาเท่ากับ 700$\times$150 = 105,000

บาทต่อเส้น ซึ่ง n คือจำนวนสายไฟฟ้า L คือระยะทาง จากผลการคำนวณจะได้คำตอบดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวอย่างราคาแร็คจากหม้อแปลงไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

ลำดับที่	M1	M2	M3
T1	21257	16221	26039
T2	18894	25355	20135
T3	25557	25983	32510
T4	23848	23499	30761
T5	23878	30342	24006
T6	22431	28876.5	22301
T7	26019	32391	25111
T8	31929	38318	30989
T9	8465	5622	14282
T10	34832	41090	33103

5. ผลการจำลองทางคณิตศาสตร์

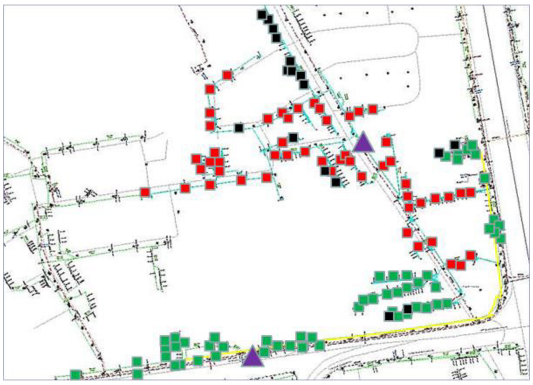
จากการจำลองโดยใช้หม้อแปลงและผู้ใช้ไฟที่อยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกอง ตัวอย่างผลการจำลองแสดงดังตารางที่ 6 และรูปที่ 3 แสดงลักษณะของการจับคู่ระหว่างหม้อแปลงและผู้ใช้ไฟ ที่ได้จากการจำลอง

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองวิธีการระบบส่งจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าการไฟฟ้าบ้านหินกอง อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี เป็นกรณีศึกษาผลการจำลองพบว่า การส่งแรงดันไฟฟ้าจากหม้อแปลงที่อยู่ใกล้ผู้ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดและมีพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการส่งไฟฟ้าจากหม้อแปลงไปยังผู้ใช้

T/M	**M1**	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**
T1	5		5	15	
T2					
T3		10			15
T/M	**M6**	**M7**	**M8**	**M9**	**M10**
T1	5		5		15
T2					
T3		5		15	
T/M	**M11**	**M12**	**M13**	**M14**	**M15**
T1	15	15			15
T2					
T3			15	15	
T/M	**M16**	**M17**	**M18**	**M19**	**M20**
T1		5	15	5	5
T2					
T3	15				



รูปที่ 3ตัวอย่างการส่งไฟฟ้าจากหม้อแปลงไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค: กรณีศึกษาการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกอง เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นโดยได้รับการสนับสนุนจากเงินงบประมาณประจำปี 2560จากสำนักงานคณะกรรมการ

วิจัยแห่งชาติโครงการวิจัยนี้ดำเนินการและสำเร็จไปได้ด้วยดีคณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขตหนึ่ง: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านหินกอง

[2] ดร.กรุง สินอภิรมย์สราญ. 2545. **Optimization for industry การแก้ปัญหาที่เหมาะที่สุดในเชิงปฏิบัติสำหรับอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดซัน แอด แอนด์พริ้น.

[3] ไชยชาญ หินเกิด.2549. **หม้อแปลงไฟฟ้า** กรุงเทพฯ :สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[4] ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล. 2547. **เครื่องกลไฟฟ้า 1**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, 2547.

[5] โปรแกรมเส้นตรง. 2013. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.computer.pcru.ac.th/emoodledata/6/3-1/lesson_3.doc (8 มีนาคม 2558)

[6] เสาไฟฟ้า (Pole). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: www.dice.ac.th/dvt/e-book/prasan/send-electrical/pole.pdf (8 มีนาคม 2558)

[7] แร็คช่องอาบสังกะสีเสาไฟฟ้า (Pole). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.terakit.co.th/private_folder/ (8 มีนาคม 2558)

การสร้างเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรความเร็วรอบต่ำโดยใช้แพลนเนตตารี่เกียร์

Fabrication of Low Speed Permanent-Magnet Synchronous Generator (PMSG)using planetary gear

ชัยนุสนธ์เกษตรพงศ์ศาล[1*] และมนตรีสุขเลื่อง[2]

Chainuson Kasagepongsarn[1*] and Montri Suklueng[2]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

[2]สถาบันวิจัยระบบพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ (PERIN)

*E-mail: chainuson.kas@sru.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร โดยใช้แพลนเนตตารี่เกียร์ผลการวิจัยพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้พัฒนาการหมุนให้มีทิศทางการหมุนที่สวนกันระหว่างโรเตอร์ ($R_{Rotaion}$) และ สเตเตอร์ ($S_{Rotation}$) ซึ่งมีสัดส่วนการหมุนสวนเท่ากับ 1:1.43 รอบ มีจำนวนสล็อต (slot) เท่ากับ 36 ร่อง จำนวนขั้วแม่เหล็ก 12 ขั้ว เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมุนเฉพาะโรเตอร์ แสดงให้เห็นว่า ความเร็วซิงโครนัสลดลงจาก 500 รอบต่อนาที เหลือเพียง 350 รอบต่อนาที ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่า 500 วัตต์ ประสิทธิภาพ (efficiency) มากกว่าร้อยละ 7 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้สามารถเพิ่มสมรรถนะ (competency) ของกังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้าแนวแกนตั้งแบบดาเรียสให้สามารถทำงานได้ที่ความเร็วลมต่ำ

Abstract

The objective of this research is fabricatethe low speed permanent-magnet synchronous generator (PMSG)using planetary gear. The revealed thatstructure was set up the magnetic rotor and coil ofstator using the ratio of 1:1.43 turns and they are contained of 36 slots and 12 poles, respectively. This generator was compared commonly generator that is one directional revolution of rotor. Results indicated that the synchronous speed at 500 rpm can be reduced to 350 rpm and the electrical power increased up to 500 watts with higher of 7 % efficiency. Therefore, this generator showsthe high competency ~~of~~for apply to Darrieus vertical axis wind turbine at low wind speed.

คำสำคัญ : แม่เหล็กถาวร, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรความเร็วรอบต่ำ, เกียร์แพลนเนตตารี่

Keywords : Permanent Magnet, Low Speed Synchronous Generator (PMSG), Planetary Gear

1. บทนำ

งานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) สำหรับการนำมาใช้ร่วมกับระบบพลังงานทดแทนที่ผลิตขึ้นเองภายในประเทศมีน้อยมากทำให้ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศแต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในลักษณะ Home Made โดยอาศัยความรู้ต่างๆ จากอินเทอร์เน็ตสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแนวราบ (AFPM) [1]ประกอบเป็นกังหันลมขนาดเล็กได้อย่างครบวงจรจากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ AFPM โดยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พบว่าประสิทธิภาพต่อปริมาตรไม่ดีนักเนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่จ่ายได้ต่ำแต่ตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่ายังขาดการวิเคราะห์และออกแบบตามหลักวิศวกรรม [2] ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของบทความวิจัยนี้คือการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรแบบโรเตอร์หมุนสวนกับขดลวด (PMSG) ซึ่งมีข้อดีคือเครื่องกำเนิดสามารถสร้างได้ง่าย ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ ไม่ต้องการพลังงานจากภายนอกในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่มีความสูญเสียที่ขดลวดสนามเนื่องจากสามารถผลิตสนามแม่เหล็กได้เองจากแม่เหล็กถาวรที่มีความเข้มสนามสูงมาก ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเล็กลงแต่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มาก [3] เพื่อลดการพึ่งพาเทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากต่างประเทศที่ราคาสูง

2.การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรแบบโรเตอร์หมุนสวนกับขดลวด

2.1 ความเร็วซิงโครนัส

จำนวนขั้วแม่เหล็กและความเร็วรอบของโรเตอร์มีผลต่อค่าความถี่ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1)

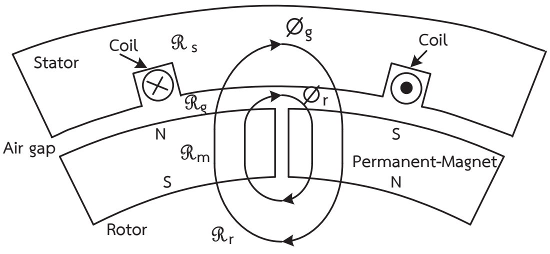
$$\theta_e R_{Rotaion} = \frac{P}{2}\theta_m S_{Rotation} \quad (1)$$

กำหนดให้ P คือจำนวนขั้วแม่เหล็ก θ_e เป็นมุมทางไฟฟ้า, $R_{Rotaion}$ คือความเร็วในการหมุนของโรเตอร์, θ_m เป็นมุมทางกล และ $S_{Rotation}$ คือความเร็วในการหมุนของสเตเตอร์ซึ่งมีสัดส่วนการหมุนสวนเท่ากับ1:1.43 รอบ ดังนั้นความเร็วซิงโครนัสในหน่วยของเรเดียนต่อนาทีแสดงดังสมการ (2)

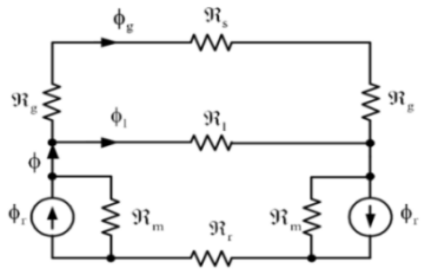
$$n_s = \frac{120f}{p} \times \frac{S_{Rotation}}{R_{Rotaion}} \quad (2)$$

2.2โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การออกแบบเริ่มต้นด้วยการกำหนดข้อมูลวัสดุแม่เหล็กตัวนำเหล็ก จำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก (pole pairs; P) และจำนวนร่องสล็อต/เฟส/ขั้วแม่เหล็ก (slot/phase/pole) การออกแบบโรเตอร์สำหรับยึดแม่เหล็กแรงสูงนีโอไดเมียม(NdFeB)[6]มีลักษณะพื้นผิวโค้งตามแกน (SMPM) [7]ซึ่งส่งผลให้เส้นแรงแม่เหล็ก (magnetic flux)สามารถเดินทางตามแนวรัศมี (RFPM)ของสเตเตอร์ได้ทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 1 อีกทั้งยังส่งผลต่อแรงต้านการบิดขณะเริ่มหมุน (cogging torque) [4]



รูปที่ 1แสดงเส้นแรงแม่เหล็กแบบผิวโค้ง[5]



รูปที่ 2 วงจรแม่เหล็กสมมูลของแม่เหล็กถาวร

เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านช่องว่างอากาศ (Φ_g) พิจารณาจากรูปที่ 2 โดยไม่คิดค่าความต้านในโรเตอร์ ($\Re_r$) และค่าความต้านทานในสเตเตอร์ ($\Re_s$)เนื่องจากค่าความต้านทาน $\Re_r + \Re_s$ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานในช่องว่างอากาศ($\Re_g$) ซึ่งถูกกำหนดโดยค่าตัวประกอบความต้านทาน (reluctance factor; K_r) การคำนวณเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านช่องว่างอากาศแสดงดังสมการที่ (3) [5]

$$\Phi_g = \frac{\Phi_r}{1 + K_r \frac{l_g A_m}{l_m A_g}\mu_r} \quad (3)$$

ความหนาแน่นฟลักซ์ในช่องอากาศ (B_g)สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4)

$$B_g = \frac{B_r}{1 + K_r \mu_r \frac{l_g}{l_m}} \quad (4)$$

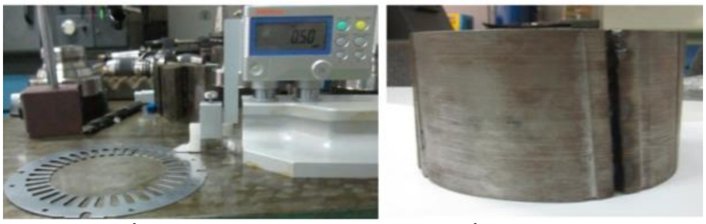
แรงดันเหนี่ยวนำในหนึ่งเฟสได้จากสมการที่ (5) โดยที่ (k_w) คือค่าแฟคเตอร์การพันขดลวดและ (P_c)คือสัมประสิทธิ์ความนำแม่เหล็ก

$$E_{rms} = 4.44 f N_{ph} \cdot k_w \frac{\Phi_r}{1 + K_r \frac{\mu_r}{P_c}} \quad (11)$$

3 การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวรชนิดโรเตอร์หมุนสวนกับขดลวด

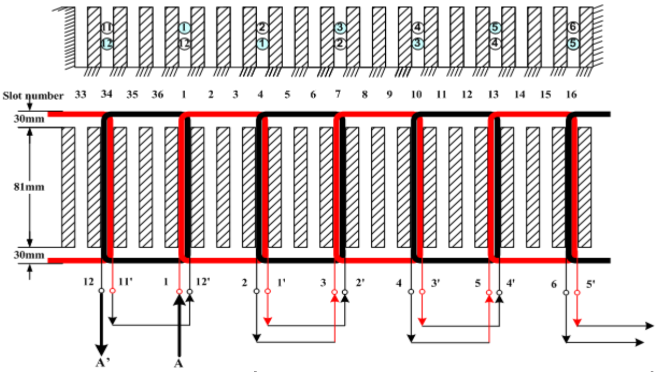
3.1 สเตเตอร์และการพันขดลวดในสเตเตอร์

สเตเตอร์ผลิตจากแผ่นเหล็กซิลิคอนขนาดหนา 0.5 มิลลิเมตร ระหว่างแผ่นเหล็กมีฉนวนเคลือบเพื่อลดการสูญเสียจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (eddy current) ภายในแกนเหล็กของสเตเตอร์ ที่จะส่งผลให้เกิดความร้อนและทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลง [8]มีการบิดร่องสล๊อตที่สเตเตอร์ให้มีมุมเอียงเท่ากับหนึ่งร่องสล็อตก่อนการพันขดลวดเพื่อลดแรงต้านการบิดขณะเริ่มหมุน [2] ซึ่งมีผลต่อการออกตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอย่างมากดังรูปที่ 3



รูปที่3 แผ่นเหล็กซิลิคอนและสเตเตอร์ที่บิดร่องสล็อต

การพันขดลวดเป็นการพันแบบเต็มพิทช์ (full pitch) ในลักษณะซ้อนทับ (lap) ตามจำนวนร่องต่อหนึ่งขั้วต่อหนึ่งเฟส (SPP) แสดงดังรูปที่ 4 โดยระหว่างแผ่นเหล็กซิลิคอนกับขดลวดทองแดงรองแผ่นไมก้าในร่องสล๊อต



รูปที่ 4 แบบการพันขดลวดในสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสความเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กถาวร

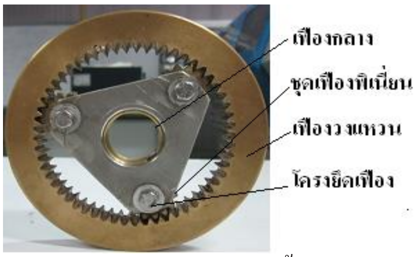
3.2 โรเตอร์และการติดแม่เหล็กบนโรเตอร์

โรเตอร์สำหรับติดแท่งแม่เหล็กถาวรถูกขึ้นรูปด้วยแผ่นเหล็กชนิดเดียวกับสเตเตอร์แต่มีขนาดเล็กกว่า มีรูสวมเพลาและรูรอบๆ รูที่สวมเพลาเพื่อช่วยในการระบายความร้อนและลดน้ำหนักของตัวโรเตอร์เอง เมื่อนำแผ่นเหล็กนี้สวมเข้ากับแกนเพลาก็จะได้เป็นแกนเหล็กโรเตอร์สำหรับติดแท่งแม่เหล็กถาวรดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 โรเตอร์สำหรับติดแม่เหล็กถาวร

3.3 ชุดเฟืองแพลนเนตตารี่

ชุดเฟืองแพลนเนตตารี่มีหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการหมุนของโรเตอร์และสเตเตอร์ ประกอบด้วยเฟืองกลาง ชุดเฟืองพินี่ยน เฟืองวงแหวน และโครงยึดเฟืองดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แพลนเนตตารี่ชั้นเดียว

3.4 แปรงถ่านและวงแหวนลื่น

วงแหวนลื่นมีจำนวน 2 ชุดมีจุดต่อวงจรไฟฟ้าจำนวน 3 จุดสำหรับนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้งานผ่านแปรงถ่านแบบวงแหวน โดยมีสปริงจำนวน 2 ตัว ดันอยู่ด้านหลังให้แปรงถ่านให้สัมผัสกับวงแหวนลื่นตลอดเวลา ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 แปรงถ่านและวงแหวนลื่น

3.5การประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวรชนิดโรเตอร์หมุนสวนกับขดลวด

เริ่มตั้งแต่การประกอบโรเตอร์เข้ากับสเตเตอร์จากนั้นประกอบชุดเฟืองแพลนเนตตารี่ดังรูปที่ 8

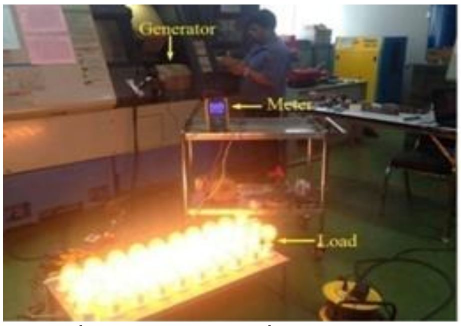
รูปที่ 8 การประกอบเฟืองแพลนเนตตารี่กับโรเตอร์

ขั้นตอนต่อมาคือการนำวงแหวนลื่นชุดแรกต่อกับขดลวดที่สเตเตอร์ซึ่งวงแหวนลื่นชุดนี้สามารถหมุนไปพร้อมกับสเตเตอร์ ส่วนวงแหวนลื่นชุดที่สองคือส่วนที่นำพลังงานไฟฟ้ามาใช้งานจากนั้นจึงนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาประกอบกับโครงหุ้มฝาครอบด้านหน้า และฝาครอบด้านหลังใช้นอตยาวร้อยผ่าน แล้วใช้โบ๊ลล๊อกดังรูปที่ 9

3.6 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การทดสอบมีการเปรียบเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขนาดกำลังการผลิตเท่ากันแต่มีความแตกต่างในการหมุนของโรเตอร์ คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หมุนเฉพาะโรเตอร์ (Standard Generator) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรแบบโรเตอร์หมุนสวนกับขดลวด (Magnetic Inverse Coils Generator) การหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจากเครื่องกลึง Computer Numerical Control (CNC) วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่อง Poweranalyzer DW-6095ในขณะเปิดวงจร (OCC curve) และขณะมีภาระทางไฟฟ้าที่ความเร็วรอบ 3 ระดับ ได้แก่ความเร็วรอบต่ำกว่า ความเร็วเท่ากับ และความเร็วมากกว่าความเร็วความเร็วซิงโครนัสดังรูปที่ 10

รูปที่ 9เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรแบบโรเตอร์หมุนสวนกับขดลวด



รูปที่ 11 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

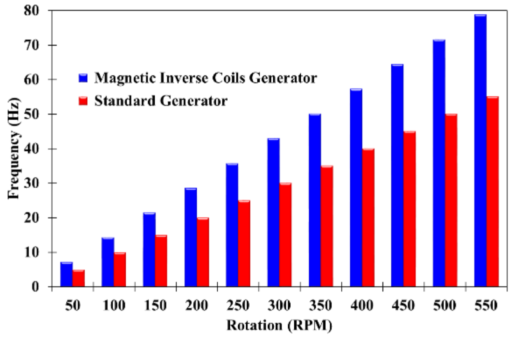
4. ผลการทดลอง

4.1ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเฟืองแพลนเนตตารี่ชนิดแม่เหล็กผกผันกับขดลวด

	ชื่อพารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
1	ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร
2	ขนาดของขดลวด	SWG#22
3	จำนวนเฟส	3 เฟส
4	จำนวนขั้วแม่เหล็ก	12 ขั้ว
5	ความเร็วรอบการหมุน	350 รอบต่อนาที
6	จำนวนรอบขดลวดต่อเฟส	480 รอบ/เฟส
7	ความต้านทานขดลวดเฟส A	6.29Ω/เฟส
8	ความต้านทานขดลวดเฟส B	6.00 Ω /เฟส
9	ความต้านทานขดลวดเฟส C	6.02 Ω /เฟส
10	ความเหนี่ยวนำขดลวดเฟส A	21.0 mH/เฟส
11	ความเหนี่ยวนำขดลวดเฟส B	21.9 mH/เฟส
12	ความเหนี่ยวนำขดลวดเฟส C	21.4 mH/เฟส

4.2 การทดสอบค่าความถี่กับค่าความเร็วซิงโครนัส

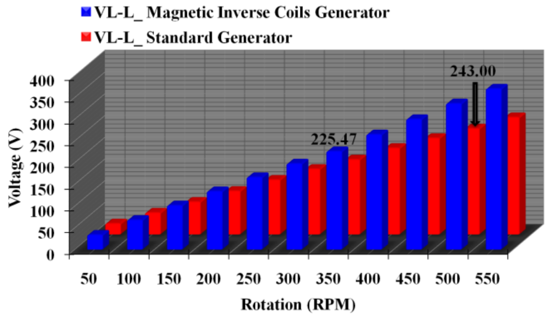
การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับค่าความเร็วซิงโครนัสพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรแบบโรเตอร์หมุนสวนกับขดลวด สามารถลดความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจาก 500 รอบต่อนาที เป็น 350 รอบต่อนาทีรูปที่ 12



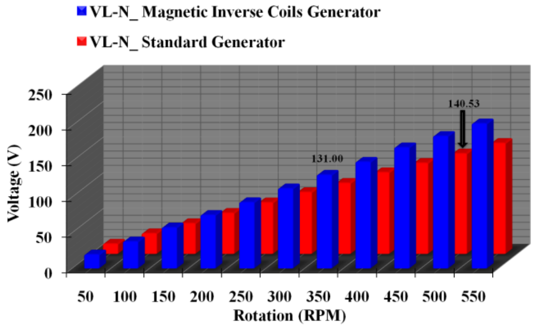
รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์
ระหว่างความถี่กับความเร็วซิงโครนัส

4.3 การทดสอบแรงดันไฟฟ้าในขณะเปิดวงจร

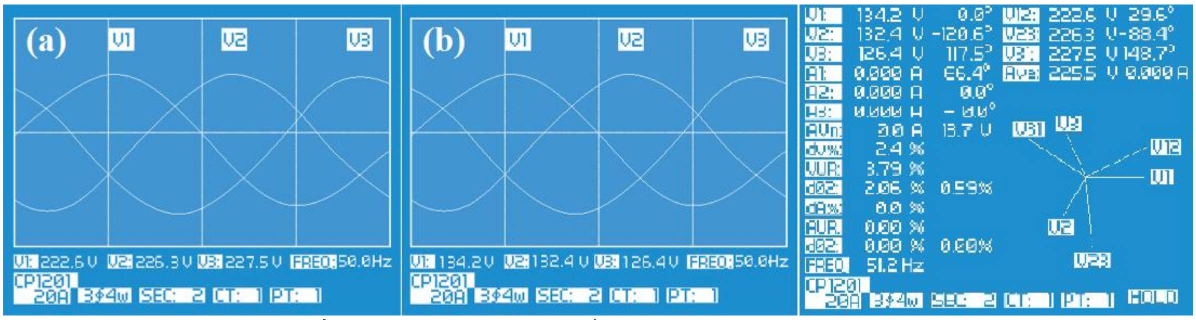
การทดสอบแรงดันไฟฟ้าในขณะเปิดวงจรได้แก่การทดสอบแรงดันไฟฟ้าสามเฟสเทียบสามเฟส (VL-L) และสามเฟสเทียบนิวตรอน (VL-N) ที่ความเร็วรอบ 3 ระดับ แสดงดังรูปที่ 13-14 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าแปรผันอย่างเป็นเชิงเส้นกับความเร็วรอบการหมุน



รูปที่ 13กราฟแรงดันไฟฟ้าVL-Lกับค่าความเร็วรอบ



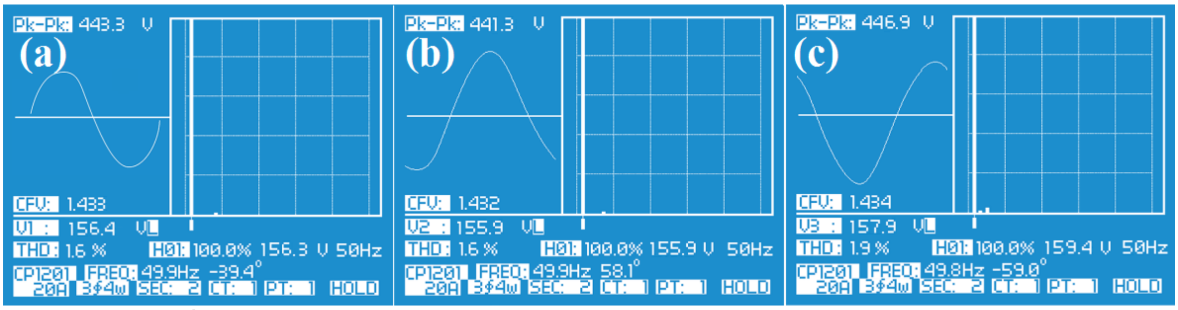
รูปที่ 14กราฟแรงดันไฟฟ้าVL-Nกับค่าความเร็วรอบ



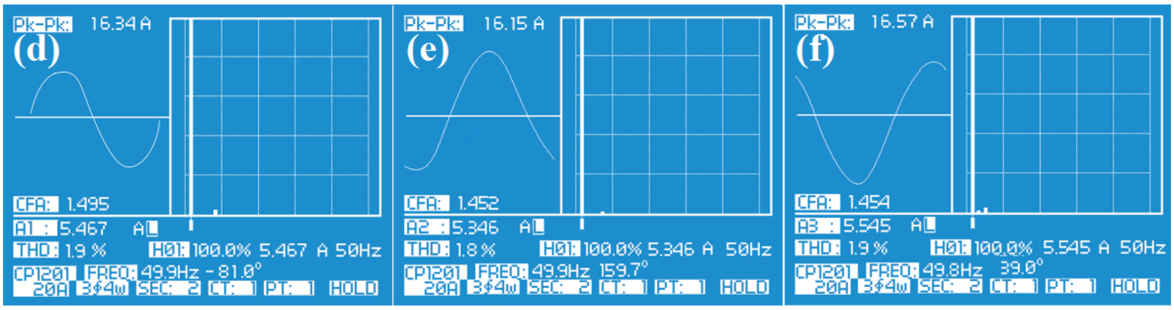
รูปที่ 15 การทดสอบสัญญาณคลื่นไซด์และมุมเฟสขณะเปิดวงจร

4.4 การทดสอบสัญญาณคลื่นไซด์

การทดสอบสัญญาณคลื่นไซด์ขณะเปิดวงจรของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสเทียบสามเฟส สามเฟสเทียบนิวตรอน และมุมเฟสแสดงเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พบว่าได้สัญญาณคลื่นไซด์แบบเต็มคลื่นที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ มีค่าเฉลี่ย 225.47 โวลต์ รูปที่ 15(a) และ 131 โวลต์ รูปที่ 10(b) ค่ามุมเฟส 120 องศาทางไฟฟ้ารูปที่ 15(C) ตามลำดับ (เมื่อ NS=350 rpm)



รูปที่ 16 สัญญาณฮาร์มอนิกในขณะมีภาระทางไฟฟ้าของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสเทียบสามเฟส



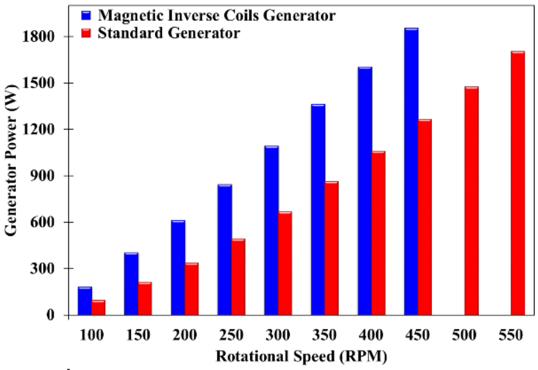
รูปที่ 17 สัญญาณฮาร์มอนิกในขณะมีภาระทางไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้า

4.4 การทดสอบขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกขณะมีภาระทางไฟฟ้าที่กระแสพิกัด

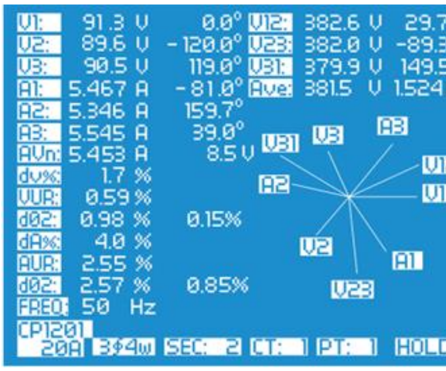
สัญญาณฮาร์มอนิกเป็นส่วนประกอบของคลื่นไซด์ตามมาตรฐานการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์มอนิก(THD%) ไม่เกินร้อยละ 5 ที่แรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม 0.4 กิโลโวลต์ [9] ผลการทดลองพบว่าค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสเทียบสามเฟส เท่ากับร้อยละ 1.6, 1.6 และ 1.9 ดังรูปที่ 16(a), 16(b) และ 16(c) ตามลำดับ และค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 1.9, 1.8 และ 1.9 ดังรูปที่ 17(d), 17(e) และ 17(f) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกในแต่ละเฟสมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 66 และร้อยละ 62.67 ตามลำดับ

4.5 การทดสอบพลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆ และมุมเฟสแสดงเวกเตอร์แรงดันและกระแสไฟฟ้า

การทดสอบพลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆ เพื่อหาจุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานได้สูงสุด โดยนำค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่ากระแสไฟฟ้าไม่เกิน 6 แอมแปร์ สำหรับสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันกับความเร็วรอบการหมุนรูปที่ 18ผลการทดสอบพบว่าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 1,500 วัตต์ ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพร้อยละ 77.84การทดสอบมุมเฟสแสดงเวกเตอร์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้า พบว่ามุมเฟสแสดงเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีค่ามุมต่างกันเท่ากับ 120 องศาทางไฟฟ้า ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ดังรูปที่ 19



รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของความเร็วรอบการหมุน



รูปที่19มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้รับการพัฒนาการหมุนให้มีทิศทางการหมุนสวนกันระหว่างโรเตอร์ และสเตเตอร์ในสัดส่วนการหมุนสวน 1:1.43 รอบ แสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้านี้สามารถลดความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้จาก 500 รอบต่อนาที เหลือเพียง 350 รอบต่อนาที สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบหมุนเฉพาะโรเตอร์ที่ความเร็วรอบเดียวกันได้มากกว่า 500 วัตต์ ประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 84

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 และสถาบันวิจัยระบบพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (PERIN)

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Piggott, H. (2011). **Windpower Workshop: Building Your Own Wind Turbine**. Centre for Alternative Technology Publications. Wales. United Kingdom.

[2] Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's University Of Technology North Bangkok. (2011).**Research and Development of Low Speed WindTurbine Generators for Manufacturer in Country.Final Report**.Energy Policy and Planning Office (EPPO).Ministry Of Energy Thailand.

[3] Petrua, L., andMazenb,G. (2014). Experimental Stand for the Study of a Three-Phase Synchronous Generator with Permanent Super Magnets.**Procedia Engineering**. 69, 231–236.

[4] Zakotnik, M.,and Tudor, C.O.(2015).Commercial-scale recycling of NdFeB-type magnets with grain boundary modification yields products with ‘designer properties’ that exceed those of starting materials.**Waste Management**.44,48-

[5] Zhu, Z. Q., Ng, K., Schofield, N., & Howe, D. (2004). Improved analytical modelling of rotor eddy current loss in brushless machines equipped with surface-mounted permanent magnets. **IEE Proceedings-Electric Power Applications**, 151(6), 641-650.

[6] Lateb, R., Takorabet, N., &Meibody-Tabar, F. (2006). Effect of magnet segmentation on the cogging torque in surface-mounted permanent-magnet motors. **IEEE Transactions on Magnetics**, 42(3), 442-445.

[7] Hsiao, C. Y., Yeh, S. N., & Hwang, J. C. (2014). Design of high performance permanent-magnet synchronous wind generators. **Energies**, 7(11), 7105-7124.

[8] Casinovi,G. andVeca,G.M. (1982). Eddy current losses in the armature of a superconducting turbine-generator.**IEEE Transactions on Magnetics**, 18, 1725-1727.

[9] Thammavong,P.,andKveeyarn,K.(2013). Principle of Harmonics Standard in Power System of Thailand.**Kasetsartengineering journal**.83(26),56-63.

การศึกษาผลกระทบการขวางการไหลของอากาศต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลด้วยคอมพิวเตอร์

THE STUDY OF AIR FLOW OBSTRUCTION EFFECT ON SMALL WIND MACHINE PERFORMANCE USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

ศิริพร สุขกุล[1]*,วิรชัย โรยนรินทร์[2]

Siriporn Sukkul[1]*,Wirachai Roynarin[2]

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี ปทุมธานี 12110

E-mail : Siriporn_suk@rtaf.mi.th,Tel.083-2960261

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบการขวางการไหลของอากาศที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ตัว ณ ศูนย์ฝึกศึกษาบุคลากรปิโตรเลียมพลังงานทหาร จ.ระยอง ดำเนินงานวิจัยโดยทำการเก็บข้อมูลการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์และจำลองโมเดล 3 มิติ ด้วยโปรแกรม SolidWork และวิเคราะห์ข้อมูลการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล(CF-Design) ที่ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุด 10 เมตรต่อวินาที ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผ่านกลุ่มอาคารต่างๆ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่ตำแหน่งการติดตั้งกังหันลมตัวที่ 1,2 และ 3 จากผลการวิเคราะห์การขวางการไหลของอากาศ พบว่าความเร็วลมลดลงเห็นได้ชัดเจนในตำแหน่งกังหันลมตัวที่ 1 ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 13,326.06 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ลดลง 68% เมื่อเทียบกับไม่มีสิ่งกีดขวางการไหลของอากาศ และได้ทดลองเพิ่มระยะห่างการติดตั้งกังหันลมเท่ากับ 12,18 และ 24 เมตร พบว่าความเร็วลมเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดที่ระยะ 24 เมตร วิเคราะห์ความเร็วลมที่ผ่านใบพัดกังหันลมตัวที่ 2 และ 3 ความเร็วลมลดลง 41.9 และ 40.4 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาเห็นได้ว่าระยะทางและความสูงของสิ่งกีดขวางการไหลของอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ABTRACT

The objective of this research is to study of air flow obstruction effect on wind turbine generator to the performance of 50 kW 3 wind turbine (WT1, WT2,WT3) from Defense Energy training Center, (DETC).The CFD commercial program of CF-Design V 9.0 was used for data analysis. The CFD speed velocity was set at 10 m/s for northeast (NE) and southeast (SE) air flow observation around the building A, B, C and D respectively. The data was collected and determined at the position WT1, WT2 and WT3 respectively. The results show that the WT1 was the lowest speed velocity decrease to 25.62% in the NE and 69.79% in the SE investigation. The data also shows that 5kW Wind turbine generator for 43,000 kW hour per year only generated 13,929.06 kW hour per year which decreased the performance to 68.2% comparing with without fluid barrier due to the building height. The building height causes turbulence from the at the back of the building lead to wind power generate lower than without fluid barrier. Additional, wind turbine distance at 12, 18 and 24 meter were observed for wind speed velocity without fluid barrier. Wind turbine was set in the same line at 270 degree angle from the hub. Wind speed velocity of 24 meter distance was collected as WT2 and WT3. The results of this research and study from CFD show that wind speed velocity was reduced to 41.9% and 40.4% respectively. Thus, the more distance between wind turbines the less turbulence affected to wind power.

คำสำคัญ : : พลศาสตร์ของไหล, ความเร็วลม, กังหันลมผลิตไฟฟ้า

KEYWORDS : Fluid dynamics, wind speed, wind turbine

1. บทนำ

โครงการวิจัยนี้ศึกษาการขวางการไหลที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์ ระยะห่างระหว่างเสากังหันลมเท่ากับ 18 เมตร จำนวน 3 ตัว โดยสังเกตการไหลของอากาศเมื่อเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มอาคารบริเวณศูนย์ฝึกบุคลากรด้านปิโตรเลียมและพลังงานทหาร จ.ระยอง ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ(NE)และทิศตะวันตกเฉียงใต้(SW)และวิเคราะห์การไหลของอากาศเมื่อเคลื่อนที่ผ่านหน้าใบพัดของกังหันลมด้วยการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศที่ระยะห่างระหว่างเสากังหันลมเท่ากับ (2D)12เมตร,(3D)18เมตร และ(4D)24 เมตรและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics,CFD) มีรายละเอียดทางเทคนิคของกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์ ดังนี้

- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบ (Diameter) 6 m
- พื้นที่กวาดใบ (Swept Area) 28.27 m^2
- จำนวนใบ 3 ใบ
- ความสูงของดุมกังหัน (Hub Height) 18 m
- ความเร็วลมเริ่มผลิตไฟฟ้า(Cut-in Wind Speed) 2.5 m/s
- ความเร็วลมหยุดทำงาน (Cut-Out Wind Speed) 12 m/s
- รูปแบบการเชื่อต่อ Grid Connected

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการไหลของอากาศที่มีสิ่งกีดขวางการไหล ด้วยแบบจำลองกังหันลมผลิตไฟฟ้า ขนาด 5 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ตัว และอาคารภายในศูนย์ฝึกบุคลากรด้านปิโตรเลียมและพลังงานทหาร โดยใช้โปรแกรมคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) (CFD) วิเคราะห์การสูญเสียในทางคณิตศาสตร์และดูผลกระทบการไหลของอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลังงานของลม [1] กังหันลมได้รับพลังงาน โดยการเปลี่ยนแปลงแรงของลมไปเป็นทอร์ค (Torque) ที่กระทำต่อใบกังหัน(Rotor Blades) ปริมาณของพลังงานลมที่ส่งผ่านไปยังใบกังหันขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย คือ ความหนาแน่นของอากาศ (Air Density) พื้นที่ของโรเตอร์ (Rotor Area) และความเร็วลม (Wind Speed) โดยปัจจัยแรกนั้น พลังงานจลน์ของลมขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอากาศ ซึ่งกล่าวถึงปริมาณมวลต่อหน่วยปริมาตร หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งคือ กังหันลมจะได้รับพลังงานจากอากาศมากขึ้นเมื่อความหนาแน่นของอากาศมีค่าสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วความดันบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 15 °C อากาศจะหนักประมาณ 1.225 kg/m^3 โดยความหนาแน่นของอากาศจะลดลงเมื่อความชื้นสูงขึ้นหรืออุณหภูมิสูงขึ้น และความหนาแน่นของอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นลดลงหรืออุณหภูมิต่ำลง

กำลังงานจากลม เป็นพลังงานจากการเคลื่อนที่ของวัตถุขึ้นอยู่กับสองตัวแปร ได้แก่ มวล (m_a)และความเร็ว (V_∞) ถ้ามวลของอากาศคงที่ ดังนั้นพลังงานลมจึงแปรผันตามความเร็วของลม สามารถเขียนสมาการพลังงานของลมได้ในรูปของ

พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ของลมที่เคลื่อนที่ไปเขียนได้ตามสมาการที่ (1) ดังนี้

$$E_K = \frac{1}{2} m_a V_\infty^2 \quad \text{..................(1)}$$

โดยที่ E_K = พลังงานจลน์ (J)

m_a = มวลของอากาศ (kg)

V_∞ = ความเร็วลม $(\frac{m}{s})$

กำลังงานจากลม (Wind Power) คือ งานที่ลมทำได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา กำลังงานจากลมจึงเป็นไปตามสมมาการที่ (2)

$$P_a = \frac{1}{2} \rho_a A V_\infty^3 \quad \text{..................(2)}$$

โดยที่ P_a = กำลังงานที่ได้จากลม (Watt)

ρ_a = ความหนาแน่นอากาศ $(\frac{kg}{m^3})$

A = พื้นที่หน้าตัด (m^2)

V_∞ = ความเร็วลม $(\frac{m}{s})$

กำลังงานจากกังหันลม (Power Wind Turbine)

สำหรับค่ากำลังงานเฉลี่ยของกังหันลมสามารถหาได้จากสมการที่ (3)

$$P_w = \frac{1}{2}\rho_a A V_\infty^3 C_p \quad \text{......................(3)}$$

โดยที่ P_a = กำลังงานที่ได้จากกังหันลม (Watt)

ρ_a = ความหนาแน่นอากาศ $(\frac{kg}{m^3})$

A = พื้นที่กวาดของใบกังหัน (m^2)

V_∞ = ความเร็วลมเข้าใบพัด $(\frac{m}{s})$

C_P = ค่าประสิทธิภาพของกังหันลม

ตามทฤษฎีของ อัลเบิร์ท เบทซ์ (Albert Betz) [13] นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ปริมาณกำลังงานที่กังหันลมสามารถสกัดได้ ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่หน้าตัดของกังหันลม (A) ความเร็วลม และลักษณะของใบของกังหันลม โดยกำลังงานสูงสุดที่กังหันลมสามารถสกัดได้คือ

$$P_{Tmax} = \frac{16}{27} A \frac{\rho}{2} v_1^3 \quad \text{..........................(4)}$$

ประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันลมคือ 59.26% (16/27 x 100%) จากการศึกษานี้กำหนดใช้

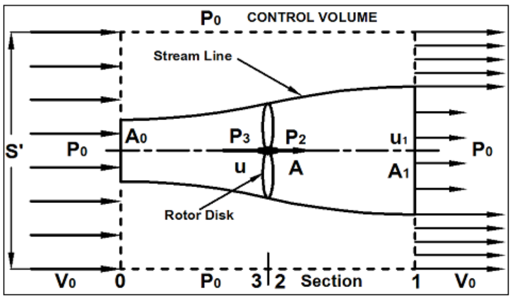
$$C_p = 0.5 , C_T = 0.89$$

ทฤษฎีการออกแบบกังหันลม

ทฤษฎีสตริป (Strip Theory) บางครั้งจะเรียกทฤษฎีนี้ว่า Glauert Annulus Momentum Vortex Theory เป็นการแบ่งโดเมนของการไหลผ่านใบกังหันออกเป็นวงแหวนในแนวรัศมี (r) ของใบ(Strip หรือ Annular Stream Tube) แล้วทำการวิเคราะห์การถ่ายเทมวลและโมเมนตัมในวงแหวนนี้ภายใต้ Strip Theory จะมีทฤษฎีย่อยๆ ประกอบอยู่ด้วยดังนี้ [8]

ทฤษฎีโมเมนตัม (Momentum Theory) การวิเคราะห์โดยใช้หลักการของทฤษฎีโมเมนต์(Momentum Theory) ในเบื้องต้นจะตั้งสมมุติฐาน(Assumption) ขึ้นมาดังนี้

- ลมที่พัดเข้ามาจะต้องมีการไหลที่สม่ำเสมอต่อเนื่อง (Homogeneous Wind Flow)
- ไม่มีสิ่งกีดขวางการไหลทางเข้าอุโมงค์ลม และทางออกของอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบ(No Obstruction to Wind Flow Either Upstream or Downstream)
- การเคลื่อนที่ของลมไม่มีการปั่นป่วนที่ใบกังหัน (Uniform Flow Velocity at Rotor)
- ลมที่ไหลเข้ามาต้องคิดว่าเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible Wind Flow) ซึ่งไม่มีผลในเรื่องของอุณหภูมิ(Temperature Effect)มาเกี่ยวข้องในการวิเคราะห์



รูปที่ 1 หลักการของทฤษฎี Momentum Theory [8]

วิเคราะห์รูปที่ 1 มีตัวแปรใดบ้างที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์กังหันลมทุก ๆ ชนิด ตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องทราบคือ S' เท่ากับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดที่เราใช้อยู่ในขอบเขตของการวิเคราะห์ปริมาตรทั้งหมดของระบบ (Control Volume)

โดยที่ V_0 คือ ความเร็วลมทางด้านเข้าและทางด้านออกของ Control volume (m/s)

U คือ ความเร็วลมก่อนที่จะถึงด้านหน้าของใบกังหันหรือแผ่นดิสก์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ (m/s)

u_1 คือ ความเร็วลมหลังจากผ่านตัวใบกังหันหรือแผ่นดิสก์ทดสอบ (m/s)

P_0 คือ ความดันบรรยากาศทั่ว ๆ ไป (N/m^2)

P_2 คือ ความดันของอากาศที่ไหลผ่านตัวใบกังหัน (N/m^2)

P_3 คือ ความดันของอากาศก่อนที่จะปะทะตัวใบกังหัน (N/m^2)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวใบกังหัน (m^2)

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดทางเข้าของอุโมงค์ลมที่ใช้ในการวิเคราะห์ (m^2)

A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดทางออกของอุโมงค์ลมที่ใช้ในการวิเคราะห์ (m^2)

Q คือ อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์ (m^3/s)

ในการวิเคราะห์ทฤษฎีของ Momentum นั้นเราสมมุติว่าความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิท้องฟ้าปกติมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ $1.225\ kg/m^3$ และจากกฎของการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuity Equation) [14] นั้นการไหลต้องเท่ากันทั้งระบบนั่นคือ $Q = A \cdot V$ จะได้ $V_0 A_0 = uA = u_1 A_1$

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันลมนั้น ตัวแปรที่สำคัญคือ C_P (Power coefficient) โดยจะได้จากการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานที่ตัวกังหันลมได้ดึงเอาไว้ P_w เปรียบเทียบกับตัวพลังงานที่สมควรจะได้จริงจากลมที่มีการไหลอิสระ P_a นั่นคือ ถ้าวิเคราะห์กันทางกลก็คือกำลังงานเท่ากับพลังงานที่ผลิตได้ต่อพลังงานที่ป้อนเข้าให้สู่ระบบนั่นเอง ในทางวิศวกรรมของพลังงานลมนั้นเราสามารถหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันลมได้คือ

$$C_P = \frac{P_w}{P_a} = \frac{\frac{1}{2}\rho A V_0^{\ 3} 4a(1-a)^2}{\frac{1}{2}\rho A V_0^{\ 3}} \quad \ldots (5)$$

ดังนั้นค่า

$$C_P = 4a(1-a)^2 \quad \ldots\ldots (6)$$

$$C_P = 4a - 8a^2 + 4a^3 \quad \ldots\ldots (7)$$

ดังนั้นถ้าต้องการทราบว่ากังหันลมจะมีประสิทธิภาพสูงสุดได้เท่าใด สามารถหาได้โดยการ Differentiate สมการที่ (7)

$$\frac{dC_P}{da} = 4 - 16a + 12a^2 = 0$$

$$12a^2 - 16a + 4 = 0$$

$3a^2 - 4a + 1 = 0$ ดังนั้นจะได้ a คือ

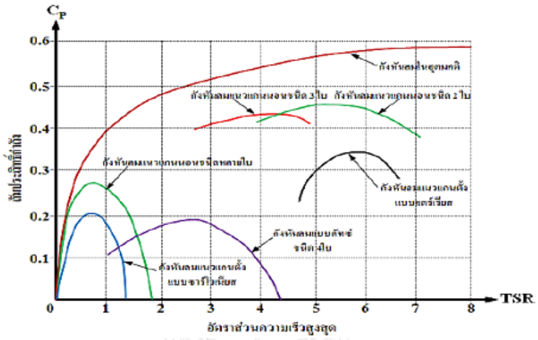
$$a = \frac{4 \pm \sqrt{(-4)^2 - 4 \times 3 \times 1}}{2 \times 3}, \quad a = \frac{4 \pm \sqrt{4}}{6}$$

$$a = \frac{2}{3} \pm \frac{1}{3}$$

สมการจะเป็นจริงได้มีค่า a แค่ 2 ค่า คือ

$$a = 1 \text{ และ } a = \frac{1}{3}$$

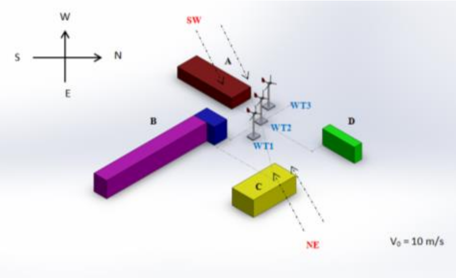
ดังนั้น ถ้าเราแทนค่า $a = \frac{1}{3}$ ลงในสมการที่ (7) เราจะทราบได้ว่าค่าประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันลม ซึ่งเราเรียกว่า $C_{P_{max}}$ นั้นจะมีค่าไม่เกิน 0.5926 นั่นคือถ้าลมให้พลังงานมา 100% กังหันที่ดีที่สุดจะทำการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานทางกลได้สูงสุดไม่เกิน 59.26 % เนื่องด้วยปัจจัยหลาย ๆ อย่างที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไป โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกังหันลมชนิดต่าง ๆ ว่าไม่มีกังหันลมชนิดใดที่สามารถออกแบบให้มีประสิทธิภาพได้ถึง 45% ด้วยซ้ำไปแต่อย่างไรก็ตามถ้าเราสามารถออกแบบชุดกังหันลมให้มีประสิทธิภาพรวมได้ถึง 30-35 % ก็ถือว่าประสบความสำเร็จเป็นอย่างสูงแล้วเนื่องจากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรที่ไม่ใช้การสันดาปเหมือนกับเครื่องยนต์ความร้อน ทำให้ไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมจะเป็นพลังงานที่สะอาดและจะไม่มีวันหมดไปเหมือนพลังงานจากเชื้อเพลิงสารไฮโดรคาร์บอนที่จำเป็นต้องใช้การเผาไหม้ในการได้งานมานั่นเอง



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพของกังหันลมชนิดต่าง ๆ [11]

4. วิธีการวิจัย

1. การวิเคราะห์การไหลของอากาศเมื่อเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มอาคารบริเวณศูนย์ฝึกบุคลากรด้านปิโตรเลียมและพลังงานทหาร จ.ระยอง ด้วยโปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้



รูปที่ 3 จำลองทิศทางลมและกลุ่มอาคาร

ตารางที่ 1 ขนาดของอาคารและระยะห่างระหว่างอาคารกับกังหันลม

Building	Height (m)	Width (m)	Length (m)	Distance from WT1	Distance from WT2	Distance from WT3
A	9.25	18	51	35	24	20
B	15	12	113	25	30	45
C	9.25	18	51	60	70	87.5
D	13.3	7	30	47.5	50	55

1.1 กำหนดข้อมูลและตัวแปรต่างๆ

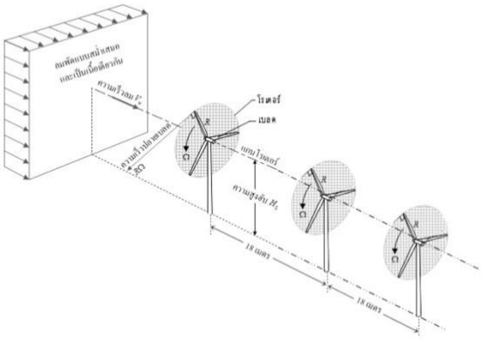
- กำหนดความเร็วลมทางเข้าอุโมงค์ 10 m/s
- กำหนดให้อากาศเป็นการไหลแบบคงที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือ(NE)ไปทิศตะวันตกเฉียงใต้(SW)
- ตั้งค่าเมช (Mesh)ให้ปรับขนาดอัตโนมัติ

1.2 วัดคามเร็วลมบริเวณหน้าโรเตอร์กังหันลม

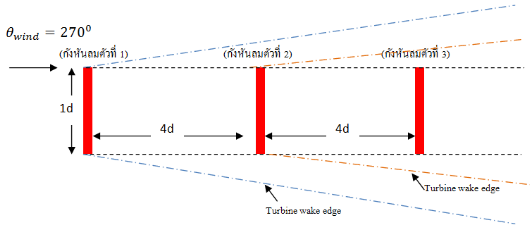
1.3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมเมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านอาคารด้วยโปรแกรม CFD

1.4 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมขนาด 5kW ควรผลิตได้กับพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้เมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลงไป

2. การวิเคราะห์การไหลของอากาศ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านหน้าโรเตอร์ของกังหันลมที่ระยะห่างระหว่างเสากังหันลมเท่ากับ (2D)12 เมตร,(3D)18 เมตรและ 4D (24 เมตร) ด้วยโปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้



รูปที่ 4 จำลองการติดตั้งกังหันลมที่ระยะ 18 เมตร (3D) [15]



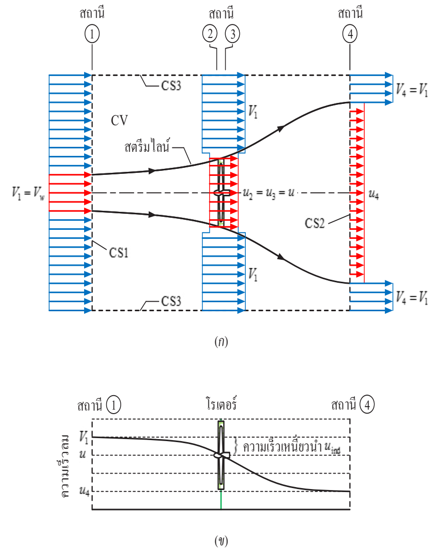
รูปที่ 5 จำลองระยะการติดตั้งกังหันลมที่ระยะ 24 เมตร (4D)

2.1 แบ่งการวิเคราะห์ออกแบบ 2 ส่วน คือ ภายในสตรีมทูปและนอกสตรีมทูปโดยพิจารณาว่า

- โรเตอร์ของกังหันลมถูกพิจารณาว่าเป็นแผ่นแอกชูเอเตอร์ (actuator disc) มีสัณฐานวงกลม แบน และบางมาก
- มีการไหลของอากาศเป็นแบบสม่ำเสมอ (uniform flow) และเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous)

2.2 กำหนดข้อมูลและตัวแปรต่างๆ

- ทางเข้าปริมาตรควบคุมที่ผิวควบคุม CS1 มีสันฐานวงกลม กำหนดให้เป็นสถานี ①
- ทางออกปริมาตรควบคุมที่ผิวควบคุม CS2 มีสันฐานวงกลม อยู่ที่สถานี ④



รูปที่ 6 ความเร็วลมในสตรีมทูป [15]

2.3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมเมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านหน้าโรเตอร์กังหันลมที่ระยะ 2D,3D และ 4D ด้วยโปรแกรม CFD

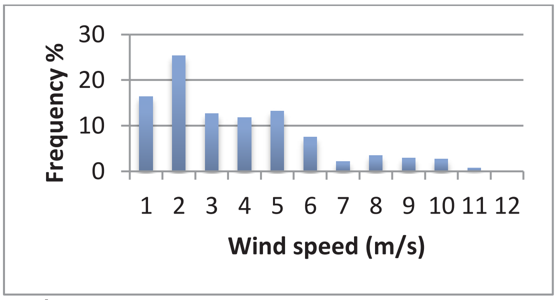
5. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลลม จากกรมอุตุนิยมวิทยา ช่วงระหว่างเดือนตุลาคม 2558 ถึงเดือนตุลาคม 2559 เมื่อนำมาวิเคราะห์พบค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 3.81 m/s ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยเดือนที่มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่เดือนสิงหาคม มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 6.55 m/s

ตารางที่ 2 ความเร็วเฉลี่ยรายเดือน

เดือน/ปี	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
ตุลาคม 2558	1.7
พฤศจิกายน 2558	3.67
ธันวาคม 2558	1.93
มกราคม 2559	2.81
กุมภาพันธ์ 2559	3.19
มีนาคม 2559	4.26
เมษายน 2559	5.13
พฤษภาคม 2559	5.06
มิถุนายน 2559	4.76
กรกฎาคม 2559	3.93
สิงหาคม 2559	6.55
กันยายน 2559	4.31
ตุลาคม 2559	2.35
เฉลี่ย	3.81

การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม เป็นเปอร์เซ็นต์ความถี่ในการเกิดลมที่ความเร็วลมขนาดต่างๆ โดยความถี่การเกิดลมส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความเร็วลมระหว่าง 2 m/s



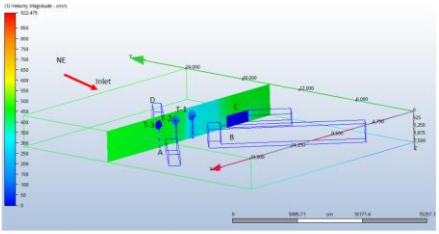
รูปที่ 7 เปอร์เซ็นต์ความถี่การกระจายตัวของความเร็วลม

ความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยช่วงระหว่างเดือนตุลาคม 2558 ถึงเดือน ตุลาคม 2559 แสดงในตารางที่ 3

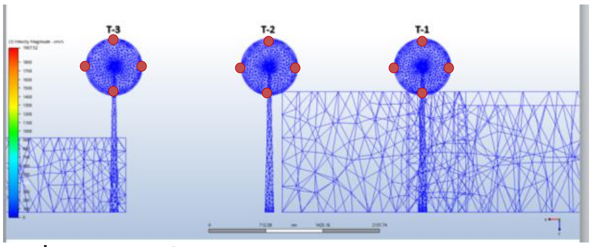
ตารางที่ 3 ความเร็วสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน

เดือน/ปี	ความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ย (m/s)
ตุลาคม 2558	9
พฤศจิกายน 2558	9
ธันวาคม 2558	9
มกราคม 2559	9
กุมภาพันธ์ 2559	9
มีนาคม 2559	10
เมษายน 2559	10
พฤษภาคม 2559	11
มิถุนายน 2559	15
กรกฎาคม 2559	13
สิงหาคม 2559	14
กันยายน 2559	11
ตุลาคม 2559	9
เฉลี่ย	10.6

จากตารางที่ 3 เมื่อนำมาวิเคราะห์พบค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 10.6 m/s จึงกำหนดให้การศึกษาโครงการนี้ใช้ความเร็วลมที่ 10 m/s วิเคราะห์ข้อมูลลมจากโปรแกรม CFD และกำหนดให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านอาคารที่ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ(NE)และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ได้ผลแสดงดังนี้



รูปที่ 8 กำหนดทิศทางลม ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)

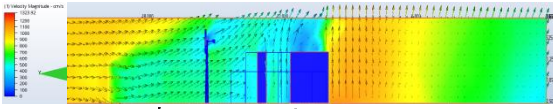


รูปที่ 9 ตำแหน่งที่ใช้วิเคราะห์ความเร็วลม

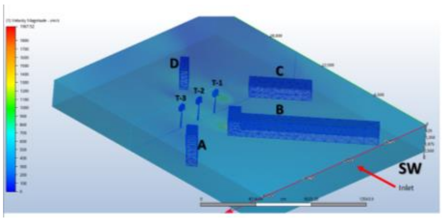
ตารางที่ 3 ตารางแสดงความเร็วลมเฉลี่ยที่ตำแหน่งหน้าโรเตอร์กังหันลม ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)

Point	ความเร็วลมที่ WT1 (m/s)	ความเร็วลมที่ WT2 (m/s)	ความเร็วลมที่ WT3 (m/s)
1	8.63244	8.83128	9.92501
2	8.39007	8.31023	9.84187
3	5.53883	7.42652	9.77648
4	7.18943	8.08913	9.86943
sum	29.75077	32.65716	39.41279
ave	7.437693	8.16429	9.85319
%de	25.62308	18.3571	1.468

จากตารางที่ 3 เมื่อลมเคลื่อนที่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) พบว่าความเร็วลมที่ตำแหน่ง WT1 ลดลง 25.62% , WT2 ลดลง 18.35%, WT3 ลดลง 1.46% มีผลมาจากความสูงของอาคารกำลังพล (D) ขวางการไหลของอากาศทำให้เกิดการปั่นป่วน เกิดลมหมุนวนบริเวณด้านหลังอาคารกำลังลมจึงลดลง ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 กำลังลมที่ตำแหน่ง WT1



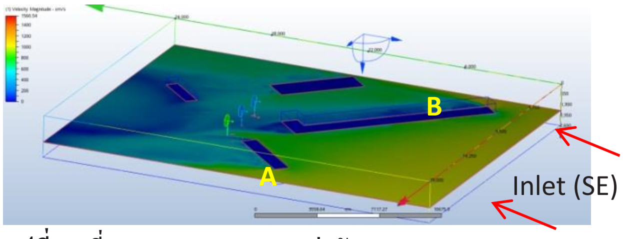
รูปที่ 11 กำหนดทิศทางลม ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ที่ความเร็วลม 10 m/s

จากรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าอาคาร B,C มีผลต่อกำลังกระแสลมในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (SW) วัดความเร็วลมที่กังหันลมได้ดังแสดงในตารางที่ 4

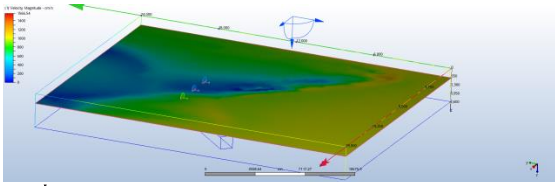
ตารางที่ 4 ตารางแสดงความเร็วลมเฉลี่ยที่ตำแหน่งหน้าโรเตอร์กังหันลม ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)

Point	ความเร็วลมที่ WT1 (m/s)	ความเร็วลมที่ WT2 (m/s)	ความเร็วลมที่ WT3 (m/s)
1	3.06099	3.87653	9.9335
2	3.54412	1.9446	9.76565
3	2.92789	2.23882	9.86561
4	2.5488	4.26902	9.9234
sum	12.0809	12.32897	39.48816
ave	3.020225	3.08224	9.87204
%de	69.79775	69.1776	1.2796

จากตารางที่ 4 พบว่าความเร็วลมที่ตำแหน่ง WT1 ลดลง 69.79% , WT2 ลดลง 69.177%, WT3 ลดลง 1.27% มีผลมาจากความสูงของอาคารจัดเลี้ยงและอาคารที่พัก (A,B) ขวางการไหลของอากาศทำให้เกิดการปั่นป่วนลมหมุนวนบริเวณด้านหลังอาคาร กำลังลมจึงลดลง ดังแสดงใน รูปที่ 12 และ13



รูปที่ 12 ที่ความสูง 9.25 เมตร เท่ากับความสูงอาคาร A,C



รูปที่ 13 ที่ความสูง 18 เมตร เท่ากับความสูง Wind Turbine

ตารางที่ 5 พลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้

Wind Speed (m/s)	**Power output (watt)**	**Energy output (kWh/day)**	**Energy output (kWh/year)**
0	0	0	0
2	50	1.20	438.00
2.5	160	3.84	1,401.60
3	250	6.00	2,190.00
3.02	**253.6**	**6.09**	**2,221.5**
3.08	**264.4**	**6.35**	**2,317.75**
3.5	340	8.160	2,978.40
4	602	14.45	5,273.52
4.5	852	20.45	7,463.52
5	1325	31.80	11,607.00
5.5	1602	38.45	14,033.52
6	1860	44.64	16,293.60
6.5	2300	55.20	20,148.00
7	2620	62.88	22,951.20
7.4	**2926.4**	**70.23**	**25,635.26**
7.5	3003	72.072	26,306.28
8	3752	90.05	32,867.52
8.1	**3,901.60**	**93.63**	**34,178.02**
8.5	4500	108.00	39,420.00
9	4800	115.20	42,048.00
9.5	5000	120.00	43,800.00
9.8	**5000**	**120.00**	**43,800.00**
10	**5000**	**120.00**	**43,800.00**

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วลม 10 เมตร/วินาที เมื่อพัดผ่านตำแหน่ง <u>WT1 ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ(NE)</u>

V_0= 10 m/s ,V=7.44 m/s

P=2926.4 watts = 2.93kW

E=2.93kW *24 hrs = 70.23 kWh/day

E=70.23 kWh/day *365 day*0.5 = 12,817.63 kWh/year

<u>WT1 ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)</u>

V_0= 10 m/s ,V=3.02 m/s

P=253.6watts = 0.25 kW

E=0.25 kW *24 hrs = 6.09kWh/day

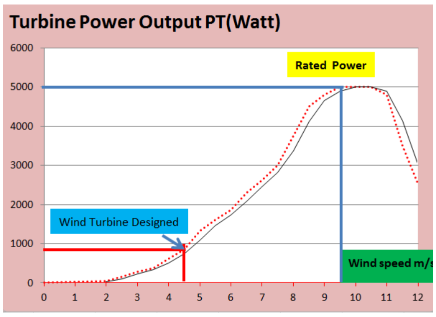
E=6.09kWh/day *365 day*0.5 = 1,111.425 kWh/year

ดังนั้นจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้มีค่าเท่ากับ

E = 12,817.63 kWh/year +1,111.425 kWh/year

E =13,929.06 kWh/year

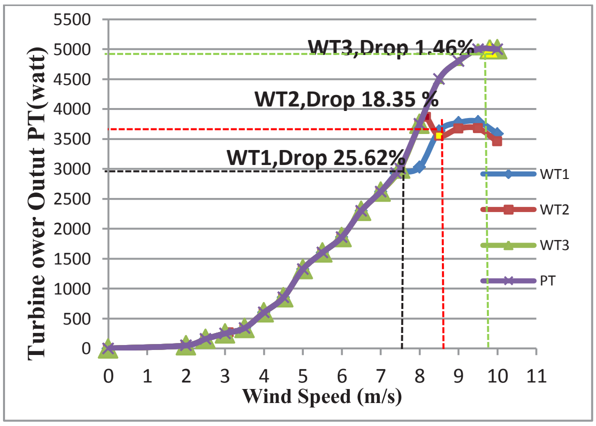
จากกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลจากเครื่องมือวัดกังหันลม วัตต์มิเตอร์และการคำนวณทางบริษัทผู้ผลิตกังหันลมขนาด 5KW ได้กราฟความสัมพันธ์ Power Curve ดังนี้



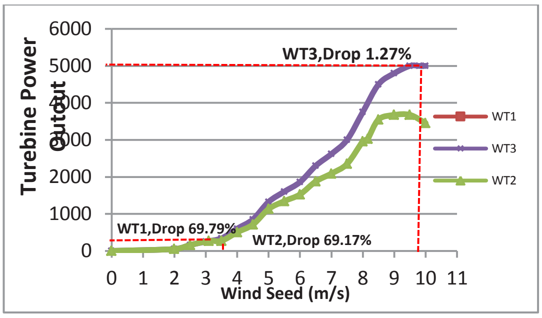
รูปที่ 14 Power Curve ของกังหันลม [7]

ผลการวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเมื่อลมเคลื่อนที่ผ่านอาคารที่ระยะต่างๆดังแสดงในตารางที่ 2 ,3 เปรียบเทียบพลังงานลมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดังนี้

กราฟที่1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมที่วัดได้จริงกับกำลังลมที่วิเคราะห์จากโปรแกรม CFD ที่ความเร็วลม 10 m/s ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)

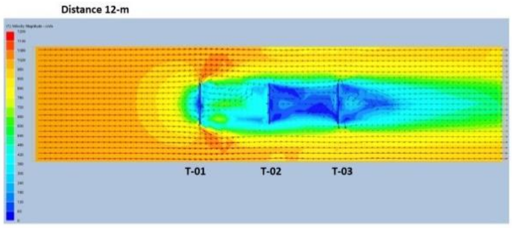


กราฟที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลมที่วัดได้จริงกับกำลังลมที่วิเคราะห์จากโปรแกรม CFD ที่ความเร็วลม 10 m/s ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)

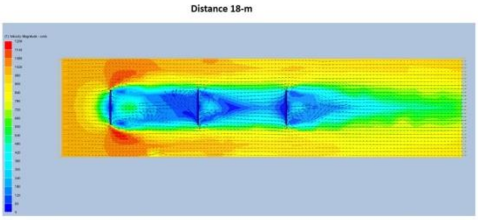


จากกราฟความสมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังงานลม(Power Curve) พบว่ากำลังงานลมที่กังหันลมควรผลิตได้แปรผันตามความเร็วลมสอดคล้องกับสมการกำลังงานกังหันลมที่ (3) เมื่อลมเคลื่อนที่ในทิศตันออกเฉียงเหนือ(NE)และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ด้วยความเร็วลม 10 m/s ผ่านอาคารกำลังพล(D) และอาคารที่พัก (B) ความสูงของอาคารเท่ากับ 13.1และ 15 เมตร ขวางการไหลขออากาศ ทำให้กำลังงานลมของตำแหน่ง WT1,WT2 ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในกราฟที่ 1,2

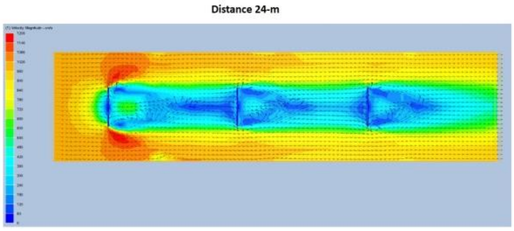
ทดลองออกแบบการติดตั้งกังหนลมที่ระยะ 12,18 และ 24 เมตรเพื่อดูการไหลของอากาศ วิเคราะห์จากโปรแกรม CFD มีผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 15 ติดตั้งกังหันลมที่ระยะ 12 เมตร



รูปที่ 16 ติดตั้งกังหันลมที่ระยะ 18 เมตร



รูปที่ 17 ติดตั้งกังหันลมที่ระยะ 24 เมตร

ผลการทดลองวัดความเร็วลมที่ตำแหน่ง WT1,WT2,WT3 มีผลดังนี้

ตารางที่ 6 แสดงความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง

Distance / Velocity	12 m.	18 m.	24 m.
WT1	10 m/s	10 m/s	10 m/s
WT2	5.52 m/s	5.61 m/s	5.96 m/s
WT3	3.47 m/s	4.90 m/s	5.81 m/s

จากตารางที่ 6 เห็นการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมตามระยะทางที่ติดตั้งกังหันลม และจากสมมติฐานในระเบียบวิธีวิจัยข้อที่ 2 เมื่อลมเคลื่อนที่ผ่านหน้าโรเตอร์ในตำแหน่ง WT1 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าลมส่วนนี้ถูกโรเตอร์ดึงพลังงานจลน์ออกจากลม ทำให้ลมถูกหน่วงความเร็วลง ความเร็วลมจึงลดลงดังแสดงในตารางที่ 6

6. สรุป

จากการศึกษาพบว่าการติดตั้งกังหันลมขนาด 5 KW จำนวน 3 ตัว ที่ศูนย์ฝึกศึกษาบุคคลากรฯ จ.ระยอง อาคารบริเวณรอบศูนย์ฝึกศึกษาฯ ความเร็วลมเฉลี่ยรายปีมีค่าเท่ากับกับ 3.81 m/s และความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยรายปีมีค่าเท่ากับ 10 m/s ที่ความสูง 18 เมตร วิเคราะห์ความเร็วลมจากโปรแกรม CFD พบว่า ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ(NE)และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ที่ตำแหน่ง WT1 วัดความเร็วลมมีค่าเท่ากับ 7.43 m/s ,3.02 m/s พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 13,929.06 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ทำให้ประสิทธิภาพลดลงเฉลี่ย 68.2 % เมื่อเทียบกับไม่มีสิ่งกีดขวางการไหล ที่ตำแหน่ง WT2 วัดความเร็วลมมีค่าเท่ากับ 8.16 m/s ,3.08 m/s พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 18,247.98 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ทำให้ประสิทธิภาพลดลงเฉลี่ย 58.33 % เมื่อเทียบกับไม่มีสิ่งกีดขวางการไหล ที่ตำแหน่ง WT3 วัดความเร็วลมมีค่าเท่ากับ 9.85 m/s ,9.87 m/s ประสิทธิภาพในการรับลมดีที่สุด ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 43,800 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าระยะทางและความสูงของสิ่งกีดขวางการไหลของอากาศมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

7. ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำผลการวิเคราะห์ระยะห่างของกังหันลมขนาด 5KW ที่เหมาะสม เพื่อประกอบการพิจารณาติดตั้งกังหันลมในสถานที่ต่างๆได้
2. ควรเพิ่มเครื่องมือวัด เช่น Anemometer ติดตั้งในกังหันทั้ง 3 ตัว เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์และมีค่าใกล้เคียงมากขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2546ก). **พลังงานลม**. [ออน-ไลน์]. แหล่งที่มา :http://www.dede.go.th/dede/renew/wind_p.htm.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **โครงการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานลมสำหรับประเทศไทย**. กรุงเทพมหานคร, 2553

[3] กรมอุตุนิยมวิทยา. **ลมมรสุม**. [ออน-ไลน์]. แหล่งที่มา :http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52

[4] นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์.(2547, กรกฎาคม-ธันวาคม). “เทคโนโลยี พลังงานลม,” **วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร**. 12(2) . 57-73.

[5] พินิจ สังข์ทอง. **การวิเคราะห์ประสิทธิภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 1.5 เมกะวัตต์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,2555.

[6] พิรุฬห์ วันดี. **การศึกษาการไหลของอากาศผ่านกลุ่มอาคาร.** โครงการศึกษาปริญญาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,2556.

[7] เอฟที เอนเนอร์จี. **กังหันลมความเร็วรอบต่ำ. [ออน-ไลน์].** แหล่งที่มา : http://www.ft-energy.co.th/product-A-01.aspx

[8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **โครงการศึกษาและผลิตต้นแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดไม่น้อยกว่า 250 กิโลวัตต์.** กรุงเทพมหานคร, 2555.

[9] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. 2547. กลศาสตร์ของไหล. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[10] วิรชัย โรยนรินทร์. **โครงการศึกษา วิจัย สาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วลมต่ำ.** กรุงเทพมหานคร, 2550.

[11] Miguel Lopez, Jean-Claude Vannier, "**STAND-ALONE WIND ENERGY CONVERSION SYSTEM WITHMAXIMUM POWER TRANSFER CONTROL**" Ingeniare. Revista chilena deingenieria, vol. 17 No 3, 2009, pp. 329-336.

[12] Energy Information Administration**.** (2004e). **Wind Energy**. [On-line]. Available: http://www.eia.doe.gov/wind_tech/energy.html.

[13] Yu-Ting Wu and Chang-Hung Chen . **A Numerical Study of the Effects of Wind Direction on Turbine Wakes and Power Losses in a Large Wind Farm.** Wind Engineering and Renewable Energy Laboratory (WIRE) Switzerland**, 2013.**

[14] Nak Joon Choi. **CFD Study on Aerodynamic Power Output Changes with Inter-Turbine Spacing Variation for a 6 MW Offshore Wind Farm.** School of Mechanical Engineering, Pusan National University,2014.

[15] Panu Pratumnopharat. **NOVEL METHODS FOR FATIGUE DATA EDITING FOR HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE BLADES**.Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements of the University of Northumbria at Newcastle for the degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering,2012.

[16] Manwell, J.F.and McGowan, J.G. **Wind Energy Explained.** West Sussex: John Wiley&Sons, 2009.

การออกแบบติดตั้งและทดสอบกังหันน้ำขนาดเล็กเพื่อการผลิตไฟฟ้าขนาด5 กิโลวัตต์

DESIGNING INSTALLATION AND TESTING OF A MICRO WATER TURBINE FOR 5 KW ELECTRIC GENERATION

สุทธิศักดิ์ ขวัญเพชร[1]*,วิรชัย โรยนรินทร์[2]

Suttisak Khwanphet[1]*,Wirachai roynarin[2]

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนน รังสิต-นครนายก
ตำบล คลองหก อำเภอ ธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3497 โทรสาร 0-2549-3432
E-mail :khwanphet@hotmail.com,suttisak.khwanphet@mail.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

รายงานการศึกษาวิจัยฉบับนี้จัดทำเพื่อแสดงให้เห็นถึงหลักการออกแบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเหมาะสมต่อความสูงและความเร็วของลำน้ำ โดยการออกแบบนั้นใช้หลักการออกแบบที่มีความสูงลำน้ำ 30 เมตรและมีอัตราการไหลของน้ำที่ 0.03ลบเมตร ต่อวินาที ซึ่งในการออกแบบให้กังหันน้ำสามารถสร้างงานกลมาขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5กิโลวัตต์ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาทีโดยไม่มีการใช้เกียร์ส่งกำลัง ดังนั้นกังหันน้ำจะต้องหมุนและผลิตแรงบิดที่เหมาะสมต่อการผลิตไฟฟ้าเพื่อเข้าสู่ระบบสายส่งที่ 5กิโลวัตต์ ความถี่ 50 เฮิรตร์ จากการออกแบบทำให้ได้ชนิดกังหันน้ำชนิดเทอโกซึ่งมีขนาดของรันเนอร์เส้นผ่านศูนย์กลาง50 เซนติเมตรและผลิตแรงบิดออกมา 350 นิวตันเมตร ที่ความสูงลำน้ำ30 เมตร ดังนั้นใน24 ชั่วโมงการทำงานกังหันน้ำสามามารถผลิตไฟฟ้าได้ 100 หน่วยไฟฟ้าต่อวันซึ่งจากการออกแบบกังหันน้ำมีประสิทธิภาพทางกล 80 เปอร์เซ็นต์และมีการสูญเสียในระบบท่อทางประมาณ20เปอร์เซนต์ส่วนที่เหลือจะเป็นการสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบควบคุมการผลิตไฟฟ้าต่างๆดังนั้นจากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่ากังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาด5 กิโลวัตต์สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีและจากการติดตั้งใช้งานจริงที่ บ้านปากทรง อ.พะโต๊ะ จ.ชุมพรทำให้ชุมชนสามารถใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตมาสู่การบริหารจัดการเป็นประโยชน์ต่อชุมชนต่อไป

Abstract

The result of this research is present about theory and designed a small water turbine for generate an electric power that properly to head and velocity of the water supply. This research upon to 30 m head of water and 0.03m^3/s flow rate. This water turbine can drives generater to generate electric power 5 kW at 120rpm without transmission. That the turbine have to oppirate at properly condition for generates electric power 5 kW, 50 Hz. From this design that use “Turgo” water turbine with diameter 50 cm runner generates the 350 N.m of Torgue at 30 m head of water. That 24 hrs.the water turbine generates the electric power 1000 unit/day. This design has 80 % mechanical efficiency and 20 % loss in the water flow system.That in this research present, this water turbine generate electric power 5 kW and this water bine pretty good to use at “BanpagsongA.patoChoompon Thailand.

คำหลัก : กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า, กังหันน้ำขนาดเล็กเทอโก

Keywords : water turbine generate electric power, Turgo water turbine micro water turbine

1. บทนำ

ในปัจจุบันทั่วโลกต้องเผชิญกับปัญหาด้านพลังงานที่รุนแรงกว่าในอดีตมาก อันเนื่องมาจากความต้องการใช้พลังงานและราคาพลังงานเชื้อเพลิงที่มีการปรับตัวอยู่ในระดับสูงอย่างต่อเนื่อง ผลกระทบที่สำคัญจากปัญหาดังกล่าวคือความมั่นคงทางด้านการจัดหาพลังงาน ขณะเดียวกันการใช้พลังงานที่สูงขึ้นก็ก่อให้ เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จนเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Green House Effects) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกอย่างรุนแรง ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาด้านพลังงานดังกล่าว จึงได้มีแนวคิดในการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนกันมากขึ้น โดยเฉพาะพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์พลังน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีการนำมาใช้เป็นระยะเวลายาวนาน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Green & Clean Energy) อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีวันหมดสิ้น

กังหันน้ำที่นำเข้ามาจากต่างประเทศไม่ได้มีการออกแบบระบบและอุปกรณ์มาให้กังหันทำงานที่ความเร็วลำน้ำต่ำ อัตราการไหลต่ำและปรับเปลี่ยนองศาการไหลของลำน้ำไม่ได้ ดังนั้น จะเห็นได้ว่ากังหันน้ำขนาดเล็กที่ผลิตมาจากต่างประเทศใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพของลำน้ำในประเทศไทย เพราะออกแบบมาที่ต้องใช้ลำน้ำสูง แต่ในประเทศไทยการไหลของน้ำอาจต้องให้มีการออกแบบให้กังหันน้ำทำงานที่อัตราการไหลของลำน้ำต่ำ และต้องสามารถปรับเปลี่ยนมุมการไหลเข้าของลำน้ำได้ การที่จะพัฒนาพลังงานน้ำขนาดเล็กเพื่อใช้ประโยชน์จึงจำเป็นต้องศึกษารูปร่างใบกังหันน้ำ มุมปะทะลำน้ำให้มีความเหมาะสมทั้งขนาดและกับความเร็วและอัตราการไหลของน้ำในประเทศไทย จึงได้เริ่มดำเนินการวิจัย จัดหา สาธิต การใช้ประโยชน์จากกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ปรับองศาลำน้ำได้ และเพื่อสามารถผลิตชิ้นส่วนที่จำเป็นและประกอบระบบกังหันน้ำขนาดเล็กผลิตไฟฟ้าขึ้นมาใช้งานในประเทศ เพื่อลดต้นทุนและสร้างความเชื่อมั่นในการใช้ประโยชน์จากกังหันน้ำขนาดเล็กผลิตไฟฟ้าซึ่งจะมีส่วนประกอบ ดังรูปที่1

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบกังหันน้ำ

2.วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.เพื่อศึกษาออกแบบรูปร่างของใบกังหันน้ำและอุปกรณ์ที่เหมาะสมต่อการผลิตไฟฟ้าที่ความสูงลำน้ำเฉลี่ย30เมตรน้ำและอัตราการไหล 0.03 ลบม/วินาที

2. เพื่อสร้างกังหันน้ำขนาดเล็กผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ เข้าสู่ระบบสายส่งจริงในชุมชนต้นแบบ

3. เพื่อศึกษาการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าและการควบคุมการทำงานของกังหันน้ำขนาดเล็ก

4. เพื่อให้ได้เครื่องต้นแบบการใช้งานในชุมชนของกังหันน้ำขนาดเล็กผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์

5. สร้างนวัตกรรมของแหล่งผลิตพลังงานจากน้ำไหลจากธรรมชาติที่สามารถขยายผลในชุมชนต่างๆ ได้

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กังหันน้ำเทอร์โก (turgo turbine) เป็นกังหันน้ำที่ถูกพัฒนาขึ้นจากกังหันน้ำแบบเพลตัน เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1920 โดยภายในตัวกังหันน้ำนี้จะใช้ถ้วยรับน้ำแบบเดี่ยวและค่อนข้างตื้นแทนถ้วยรับน้ำแบบคู่ในกังหันน้ำแบบเพลตัน กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำที่มีระดับความสูงปานกลาง (medium head) เพราะสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดซึ่งมีความเร็วไม่มากนัก และมีความสามารถในการรับปริมาณน้ำได้มากกว่ากังหันน้ำเพลตัน โดยประสิทธิภาพของกังหันน้ำจะดีที่สุดเมื่อความเร็วของ

การหมุนของวงล้อถ้วยเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำที่ฉีดเข้าไปเหมือนกับกรณีของกังหันน้ำแบบเพลตัน กังหันน้ำเป็นอุปกรณ์แปลงพลังงาน จากพลังงานน้ำที่มีความดันโดยผ่านท่อทางหรือหัวฉีดน้ำเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานกล โดยอาศัยหลักการทางกลศาสตร์ ส่วนประกอบของกังหันจะมี 2 ส่วนด้วยกัน คือ ใบพัดที่อยู่กับที่ (Fixed Blades) สเตเตอร์(Stator) หรือ หัวฉีด (Nozzle) ซึ่งจะอยู่กับการออกแบบ ซึ่งเมื่อรวม ส่วนที่อยู่กับที่กับใบพัดที่เคลื่อนที่ 1 คู่ จะเรียกว่า 1 สเตจ(Stage) น้ำที่ความดันสูงเมื่อไหลเข้ากังหัน ความดันจะถูกแปลงเป็นพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) โดยหัวฉีดหรือแถวใบพัดที่อยู่กับที่จะเป็นตัวปรับทิศทางของน้ำให้ปะทะกับใบกังหันที่เคลื่อนที่ในองศาที่เหมาะสมตามการออกแบบของสเตจแต่ละชนิด ทำให้โมเมนตัมของกระแสนั้นเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้เกิดแรงในแนวเส้นรอบวงและได้แรงบิดของเพลากังหัน (Shaft Torque) หรือ กำลังเพลา (Shaft Power)ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการแปลงพลังงานของกังหันนั้นอาศัยหลักการทางกลศาสตร์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างงานเพลา หรืองานกลที่ได้กับการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของกระแสการไหลที่วงล้อหรือแถวของใบพัดที่เคลื่อนที่หรือหมุนได้ดังนี้

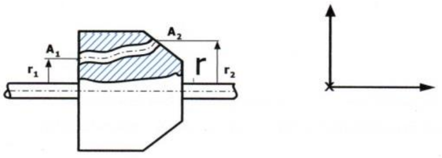
กระแสของของไหลที่ขยายตัวที่ใบพัดที่อยู่กับที่มาแล้วจะมีความเร็วสูง C_1 ไหลเข้าช่องทางไหลในโรเตอร์ซึ่งพื้นที่หน้าตัด A_1 และไหลออกด้วยความเร็ว C_2 พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งได้ฉากกับกระแสการไหล A_2 ทั้งนี้สมมติให้จุดศูนย์กลางของแต่ละหน้าตัดอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางเพลา R_1 และ R_2 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์แบบ 1 มิติ (One – Dimension)โดยถือว่าสมบัติต่าง ๆ ของ ๆ ไหลที่แต่หน้าตัดมีค่าคงที่ จะได้ว่าการไหลผ่านชิ้นส่วนข้างต้น ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ซึ่งสามารถแยกการพิจารณา ออกได้เป็น 3 แกน ตั้งฉากกัน ดังนั้นในแนวแกนเพลาได้ว่า

$$F_A = m_s \left(C_{2A} - C_{1A} \right) \quad (1)$$

โดยที่ F_A คือ แรงที่กระทำต่อวงล้อในแนวแกนเพลา

m_s คือ อัตราการไหลของไอน้ำ

C_{1A}, C_{2A} คือองค์ประกอบความเร็วของกระแสการไหลในแนวแกนที่ทางเข้าและทางออกและทางออกตามลำดับ



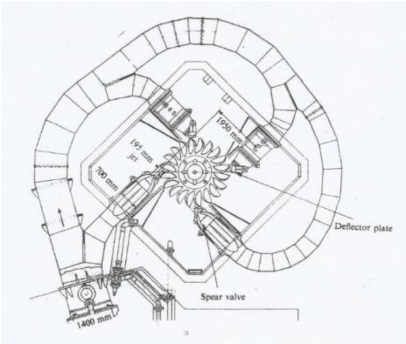
รูปที่ 2 ใบพัดที่เคลื่อนที่

ในแนวแกนตามปกตินอกจากจะมีแรงนี้แล้วยังมีแรงเนื่องจากความดันแตกต่างที่ผิวหน้าทั้งสองของแป้นวงล้อ มากระทำเสริมอีก ซึ่งทั้งหมดนี้จะถ่ายทอดไปยังเพลาเป็นแรงรุน (Thrust) ดังนั้นการออกแบบทั้งระบบจะต้องหาทางรองรับแรงนี้ มิฉะนั้นเพลาจะขยับไปในแนวที่แรงกระทำยกเว้นผลกระทบข้างต้นแล้วจะไม่มีงานกลเกิดขึ้นในทิศทางนี้ เนื่องจากชิ้นส่วนไม่มีการ

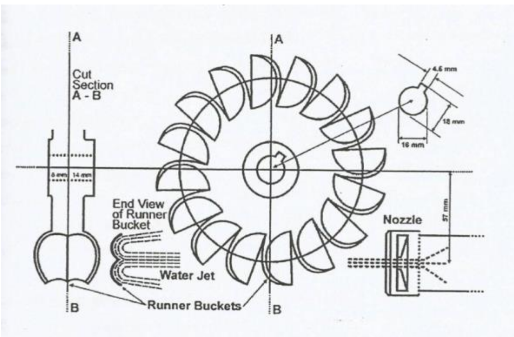
เคลื่อนที่ในแนวที่แรงกระทำในแนวรัศมี เนื่องจากรูปร่างของช่องทางการไหลต่าง ๆ ที่จัดทำขึ้นในโรเตอร์จริงมีลักษณะสมมาตร(Symmetry)รอบแกนหมุน ดังนั้นองค์ประกอบของแรงที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ของกระแสการไหลในแนวรัศมี จึงหักล้างกันหมดเหลือแรงสุทธิเป็นศูนย์ประกอบกับไม่มีการเคลื่อนที่ของแป้นหมุนในทิศทางนี้ ดังนั้นจึงไม่มีงานกลเกิดขึ้นในแนวนี้เช่นกัน

ล้อเพลตัน (Pelton wheel)

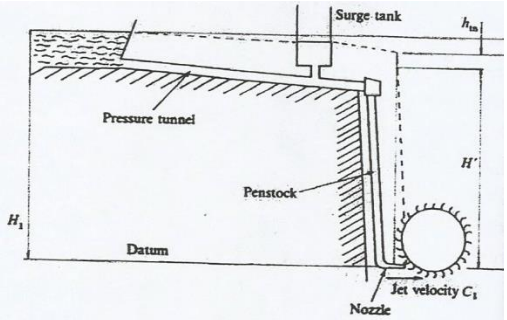
กังหันล้อเพลตันเป็นกังหันที่ใช้แรงกระแทกเพียงอย่างเดียว (pure impulse turbine) ที่ซึ่งลำของไหล (jet) ที่พุ่งออกจากหัวฉีด (Nozzle) กระแทกลงบนลูกถ้วยรูปโค้ง (curved buckets) ที่วางเรียงกันอยู่บนขอบของวงล้อที่กำลังหมุนอยู่ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงหัวฉีด 4 หัว ลูกถ้วยเบี่ยงเบนลำของไหลที่ผ่านตัวมันออกไปเป็นมุมระหว่าง 160° - 165° ในระนาบเดียวกับลำของไหลและลำของไหลจะเลี้ยวกลับ เป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหล และทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาบนลูกถ้วย ลูกถ้วยถูกผลักออกไปด้วยลำของไหล และลูกถ้วยอันต่อมาก็จะเข้ามาแทนที่ และถูกกระทำในทำนองเดียวกัน น้ำที่ถูกจ่ายเข้าสู่ลูกถ้วยจะตกลงในแนวดิ่งลงในอ่างเก็บน้ำที่อยู่ต่ำกว่า หรือ ท้ายน้ำ (tailrace) และพลังงานทั้งหมดที่ส่งถ่ายจากทางออกของหัวฉีดไปยังท้ายน้ำเกิดขึ้นที่ความดันคงที่



รูปที่ 3ชุดของกังหันล้อเพลตัน



รูปที่ 4 ล้อเพลตัน

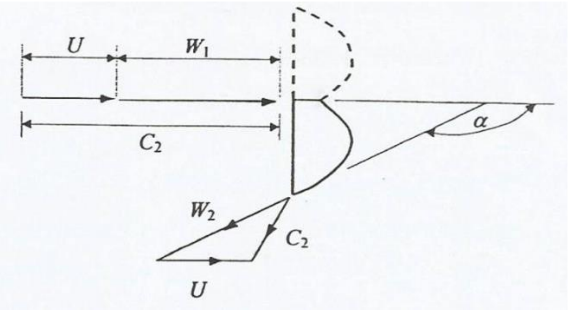


รูปที่ 5 การติดตั้งล้อเพลตันสำหรับผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

แผนภาพแสดงการติดตั้งล้อเพลตันสำหรับผลิตไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ แสดงดังรูปที่ 5 น้ำถูกจ่ายออกจากอ่างเก็บน้ำที่มีเฮดคงที่ที่ระดับ H เหนือแนวศูนย์กลางลำของไหลที่พุ่งออกจากหัวฉีดอุโมงค์ส่งน้ำ (pressure tunnel) วางเอียงเล็กน้อยต่อจากอ่างเก็บน้ำไปยังจุดเกือบที่จะเป็นแนวดิ่งเหนือตำแหน่งที่ตั้งของกังหัน ท่อที่มีความชันเกือบจะเป็นแนวดิ่ง เรียกว่าท่อน้ำตก (penstock) ต่อที่ปลายอุโมงค์ส่งน้ำไปยังหัวฉีดในขณะที่ถังรับการกระเพื่อม (surge tank) ถูกติดตั้งที่ปลายด้านบนของน้ำตก เพื่อดูดซับความดัน และ ความเร็วชั่วขณะที่เกิดจากการควบคุมการไหล เมื่อเทียบกับท่อน้ำตกแล้วอุโมงค์ส่งน้ำจะยาวกว่ามาก และความชันของมันจะน้อยมาก และมันจะได้รับการแปรผันของความดัน (pressure fluctuations) ซึ่งเกิดจากลิ้นควบคุมการไหลที่ทางเข้าไม่มากนัก ท่อน้ำตกจะต้องถูกป้องกันจากการแปรผันของความดันจำนวนมากๆที่เกิดขึ้นระหว่างหัวฉีดกับ ถังรับการกระเพื่อม และตามปกติจะใช้ท่อเป็น a single steel-lined concrete pipe หรือ a steel-lined excavated tunnel

ที่ปลายของท่อน้ำตกคือ หัวฉีดซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนเฮดรวมของน้ำที่ทางเข้าไปยังหัวฉีดให้เป็นลำน้ำที่มีความเร็ว C_1 ที่ความดันบรรยากาศ

สามเหลี่ยมของความเร็วสำหรับการไหลของของไหลที่เข้าสู่และออกจากลูกถ้วยอันหนึ่งแสดงดังรูปที่ 6 ถ้าลูกถ้วยถูกทำให้อยู่กับที่แล้ว จะต้องหักค่าของความเร็วลูกถ้วย U_1 ออกจากความเร็วของลำของไหล C_1 ทำให้ได้ความเร็วสัมพัทธ์ของของไหล W_1 ที่เข้าสู่ลูกถ้วย มุมที่ลำของไหลเปลี่ยนทิศทางในระนาบในแนวนอนระหว่างการไหลผ่านช่องทางเหนือผิวของลูกถ้วย คือ มุม α และความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางออกคือ W_2 ถ้าเวกเตอร์ความเร็วของลูกถ้วย U_2 ถูกรวมกับ W_2 ในทิศทางที่เหมาะสม จะได้เป็นความเร็วสัมบูรณ์ที่ทางออกคือ C_2 ที่จริงแล้ว C_{x2} ของ C_2 สามารถที่จะอยู่ในทิศทางบวก หรือ ลบของแกน x ขึ้นอยู่กับขนาดของ U



รูปที่ 6สามเหลี่ยมของความเร็วสำหรับล้อเพลตัน

จากสมการออยเลอร์ที่ใช้สำหรับกังหัน (Euler's turbine equation)

$$W/m = U_1C_{x1} - U_2C_{x2}$$

สมมุติให้ไม่มีการสูญเสียของความเร็วสัมพัทธ์ เนื่องจากความเสียดทานเมื่อผ่านผิวหน้าของลูกถ้วย $(W_1 = W_2)$ แล้ว

$$W/m = U(W_1 - W_1\cos\alpha)$$

เพราะฉะนั้นจาก $E = W/mg$

$$E = \frac{U(C_1 - U)(1 - COS\alpha)}{g} \quad (2)$$

หน่วยของ E เป็น วัตต์ต่อนิวตันต่อวินาทีของการไหลโดยน้ำหนัก (Watts Per Newton Per Second Weight of Flow)

ในทางปฏิบัติ จะมีความเสียดทานเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของลูกถ้วย และทำให้ W_1 ไม่เท่ากับ W_2 แล้วสมการจะกลายเป็น

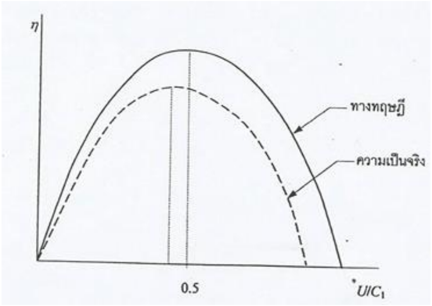
$$E = \frac{UW_{x1}(1 - k\cos\alpha)}{g} \quad (3)$$

เมื่อ k คืออัตราส่วนของความเร็วสัมพัทธ์ (The Relative Velocity Ratio) ถ้าประสิทธิภาพเชิงไฮดรอลิกมีค่าจำกัดความเป็น

$$ประสิทธิภาพเชิงไฮดรอลิก = \frac{พลังงานที่ถูกถ่ายทอด}{พลังงานจากลำของไหล}$$

$$\eta_H = \frac{E}{\frac{C_1^2}{2g}} \quad (4)$$

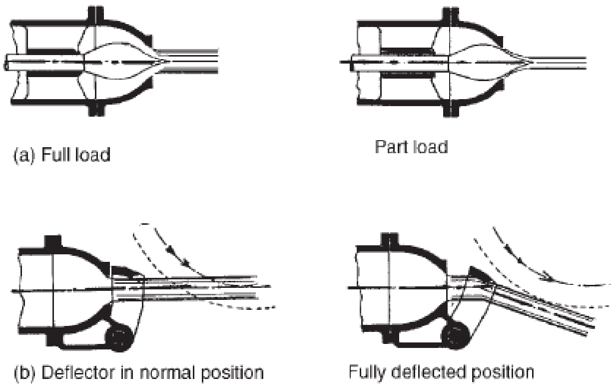
ถ้า $\alpha = 180^\circ$ จะมีประสิทธิภาพเชิงไฮดรอลิกสูงสุดเป็น 100% ในทางปฏิบัติมุมเบี่ยงเบน (The deflection angle) อยู่ระหว่าง $160^\circ - 165^\circ$ เพื่อหลีกเลี่ยงการปะทะกับลำของไหลที่กำลังจะเข้ามา และจะทำให้ η_H ถูกลดลง รูปที่7แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพทางทฤษฏีเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนความเร็ว (U/C_1) ประสิทธิภาพรวม(The overall efficiency) จะมีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพทางทฤษฎีเช่นเดียวกับอัตราส่วนความเร็วถูกลดลงที่ประสิทธิภาพสูงสุด อันนี้เนื่องมาจากการสูญเสียในท่อส่งน้ำและหัวฉีด ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อหลังๆ (ในทางปฏิบัติประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ อัตราส่วนความเร็ว $(U/C_1) \approx 0.46$)



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพและอัตราส่วนความเร็วของลำของไหล [1]

1) การเปลี่ยนภาระของล้อเพลตัน(pelton wheel load change)ตามปกติกังหันที่ใช้กับของเหลว จะต่อโดยตรงเครื่องกำหนดไฟฟ้าและเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะต้องหมุนด้วยความเร็วคงที่เพื่อรักษาความถี่ของไฟฟ้าให้คงที่ ดั้งนั้นความเร็ว U ของกังหันจะต้องคงที่ด้วย เมื่อภาระเปลี่ยนแปลงกังหันจะต้องเดินเครื่องที่ประสิทธิภาพสูงสุด และดังนั้นอัตราส่วน U/C_1ต้องเหมือนเดิม นั่นคือ ความเร็วของลำของไหล C_1 ต้องไม่เปลี่ยนแปลง มีทางออกอยู่ทางเดียวในการปรับค่าเพื่อเปลี่ยนภาระให้กับกังหัน คือการเปลี่ยนค่าของกำลังน้ำที่ป้อนเข้า (the input water power)

กำลังของน้ำที่ป้อนเข้า กำหนดให้เป็น $\rho g Q H'$ แต่ H' มีค่าคงที่(และทำให้ C_1 คงที่ด้วย)และตัวแปรจะเหลือเฉพาะ Qเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล เป็นผลมาจาก $Q = C_1 A$ พื้นที่หน้าตัด ของหัวฉีด(the cross-sectional area of the nozzle) เนื่องจาก C_1 คงที่แล้ว พื้นที่ หัวตัดของหัวฉีด (Spear valve) ซึ่งใช้เปลี่ยนแปลงหน้าตัดของลำของไหล(the jet cross-sectionalarea , A) ดังรายละเอียดในรูปที่ 8 ตำแหน่งของเข็มหัวฉีดถูกควบคุมด้วยกลไกเซอร์โว(servo-mechanism) ที่ซึ่งตรวจจับการเปลี่ยนแปลงภาระ สำหรับการลดภาระอย่างทันที่ทันใด แผ่นเบี่ยงเบนทิศทาง (deflection plate) ก็จะถูกใช้เพื่อเบี่ยง ลำของไหลทั้งหมดออกจากลูกถ้วย และเพื่อหน่วงเวลาให้เข็มหัวฉีดเคลื่อนที่อย่างช้าๆ ไปยังตำแหน่งของภาระใหม่ อันนี้เพื่อป้องกันความเร็วรอบที่สูงเกินไป



รูปที่ 8 การควบคุมภาระด้วยการใช้เข็มหัวฉีดและแผ่นเบี่ยงเบนทิศทาง

2) การสูญเสียและประสิทธิภาพของล้อเพลตัน (Pelton wheel losses and efficiencies)เฮดสูญเสียเกิดขึ้นในท่อส่งน้ำ ขณะกำลังลำเลียงน้ำไปยังหัวฉีดและเฮดสูญเสีย ประกอบขึ้นด้วยความเสียดทานและการสูญเสียในข้องอ(bend losses) การสูญเสียจะเกิดขึ้นในหัวฉีดได้เหมือนกันและการสูญเสียเหล่านี้จะอธิบายในเทอมของสัมประสิทธิ์ของความเร็ว(velocity coefficient, Cv) อันสุดท้ายก็จะมีการสูญเสียเนื่องจากการแหวกอากาศ (windage loss) และความเสียดทานในวงล้อของกังหัน เส้นเฮดรวมที่

$$\frac{P_{atm}}{\rho g}+\frac{C_0^2}{2g}+H_1=\frac{P_{atm}}{\rho g}+\frac{C_1^2}{2g}+0+h_f+h_{in}$$

เมื่อ $C_0 = 0$ จะได้

$$H' = H_1 = (h_f + h_{in}) = \frac{C_1^2}{2g} \qquad (5)$$

เมื่ออธิบายเป็นพลังงานจลน์ต่อหน่วยน้ำหนักของการไหล (weight of flow) ในที่นี้ประสิทธิภาพของท่อส่งน้ำ (pipe line efficiency) คือ

$$\eta_{trans} = \frac{H}{H_1} \qquad (6)$$

และประสิทธิภาพของหัวฉีด (Nozzle efficiency) คือ

$$\eta_N = \frac{C_1^2}{2gH} \qquad (7)$$

ดังนั้นประสิทธิภาพรวมของหัวฉีดและท่อส่งน้ำ (Nozzle and pipeline transmission efficiency) คือ

$$\eta_{N\ \ trans} = \frac{H^{'}}{H} \times \frac{H}{H_1} = \frac{C_1^2}{2g\,H_1} = \frac{C_1^2}{2g\,H_1} \qquad (8)$$

ประสิทธิภาพเชิงความเร็วของหัวฉีด (Nozzle velocity efficiency) คือ

$$C_v = \frac{C_1}{\sqrt{2gH}} \qquad (9)$$

เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพของหัวฉีดจะกลายเป็น

$$\eta_N = \frac{C_1^2}{2gH} = C_v^2 \qquad (10)$$

กำลังที่ใช้ในการขับใบพัดในทางทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \qquad (11)$$

P กำลังงานที่ใช้ในการขับใบพัด (W)

T แรงบิด (N.m)

n ความเร็วรอบใบพัด (rpm)

4. วิธีการวิจัย

1.สำรวจหมู่บ้านพื้นที่ติดตั้งกังหันน้ำเพื่อใช้งานจริงโดยได้ที่บ้านปากทรง อำเภอพะโต๊ะ จ.ชุมพรมีความสูงลำน้ำ30เมตร

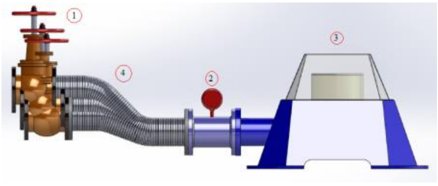
2.หาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่มีเกียร์ทดหมุนรอบต่ำซึ่งได้ขนาด 5 กิโลวัตต์หมุนที่120รอบต่อนาทีใช้ในการคำนวณออกแบบย้อนกลับเพื่อออกแบบกังน้ำที่มีขนาดเล็กและรูปร่างที่เหมาะสม

3.ออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบพร้อมปรับแก้ซึ่งได้ล้อกังหันน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง50เซนติเมตร และลูกถ้วยแบบเทอโกรับลำน้ำจากหัวฉีดขนาดต่างซึ่งได้จากทฤษฎีสมการต่างๆข้างต้นที่กล่าวมาแล้วและจ้างบริษัทผลิตตามแบบดังรูปที่1

4.ทดสอบประสิทธิภาพและกำลังผลิตไฟฟ้าของกังหันน้ำและนำไปติดตั้งใช้งานจริง

5. การติดตั้งและทดสอบ

จากการออกแบบจึงได้ชุดกังหันน้ำที่ปรับแรงดันน้ำได้ดั่งรูปที่9



รูปที่ 9 การออกแบบและผลิตกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าเพื่อสามารถปรับองศาและอัตราการไหลและแรงดันน้ำ

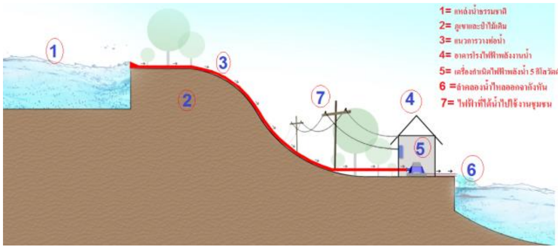
จากรูปอธิบายได้ตามหมายเลขดังนี้

1. คือชุดวาล์วปรับอัตราการไหลของลำน้ำที่ไหลมาจากแหล่งต่างๆในชุมชนหรือแหล่งน้ำใดๆ

2.ชุดวัดแรงดันและอัตราการไหลของน้ำ

3.ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกังหันน้ำ

4.ชุดท่อปรับองศาการทำงานของลำน้ำที่สามาทำงานได้หลายมุมองศาการไหลและพื้นที่หน้างานจริง

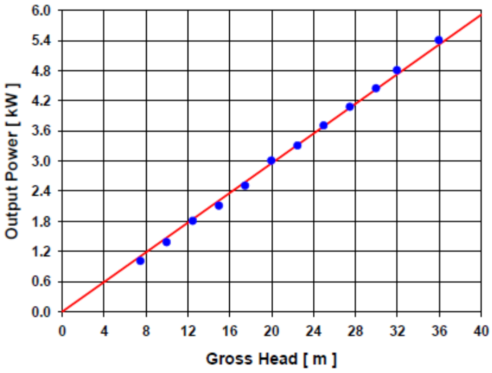


รูปที่10 การวางระบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

รูปที่11ทดสอบเก็บข้อมูล

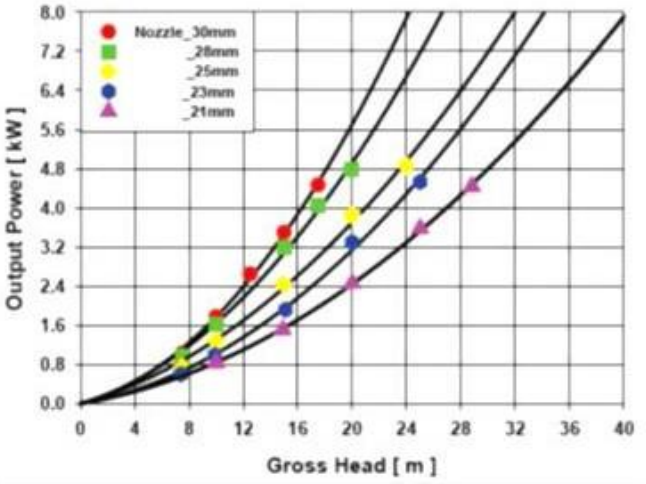
รูปที่12 ติดตั้งใช้งานจริง

5. ผลการวิจัย



No.	Gross Head (m)	Flow (l/s)	Flow (m^3/day)	Power (W)	kWh(month)	kWh(year)
1	30	30	2,592	4,440	3,197	38,362
2	27.5	30	2,592	4,070	2,930	35,165
3	25.0	30	2,592	3,700	2,664	31,968
4	22.5	30	2,592	3,300	2,376	28,512
5	20.0	30	2,592	3,000	2,160	25,920
6	17.5	28	2,419	2,400	1,728	20,736
7	15.0	28	2,419	2,000	1,440	17,280
8	12.5	28	2,419	1,800	1,296	15,552
9	10.0	28	2,419	1,375	990	11,880
10	7.5	28	2,419	1,000	720	8,640

กราฟและตารางแสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาของกังหันน้ำที่ระดับความสูงเฮด 30 เมตร



กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าและความสูงของลำน้ำเมื่อใช้ขนาดหัวฉีดเส้นผ่านศุนย์กลางต่างขนาดกัน

6. สรุปผลการศึกษา

ดังนั้นจากผลการศึกษาทั้งการออกแบบและติดตั้ง ทดสอบและกราฟต่างๆจากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้ทดสอบสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในเบื้องต้น ได้เป็นอย่างดี และได้ติดตั้งใช้งานจริงและต่อเข้าใช้งานกับระบบที่ บ้านปากทรง อ.พะโต๊ะ จ.ชุมพรทำให้ชุมชนสามารถใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตมาสู่การบริหารจัดการเป็นประโยชน์ต่อชุมชนต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี สำหรับอำนวยความสะดวกด้านต่างๆในการวิจัยครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1]วิรชัย โรยนรินทร์. “ต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วลมต่ำ”.ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี, 2551

[2]อภิชาติ สร้อยระย้า. “กลศาสตร์ของไหล” กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, 2551

[3] Erich Hau“ Wind Turbines ” Fundamentals,Technologies,Application,Economics

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกร่วมกับเลนส์เฟรสเนล

Solar power and thermal generation system by using solar thermoelectric and Fresnel lens

นันทพร วันเรียน[1] ฉันทนา พันธุ์เหล็ก[2] และ สมชาย มณีวรรณ์[3*]

Nanthaphon Wanraian[1] Chantana Punlek[2] and Somchai Maneewan[3*]

[1 2 3]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก 65000

[1 2 3]Department of Physics Faculty of Science Naresuan University, Phitsanulok 65000

[*]somchaim@nu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 055 963552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยออกแบบและสร้าง ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกร่วมกับเลนส์เฟรสเนลทั้งหมด 4 ระบบ จะทำการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ ร่วมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางไฟฟ้า และประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของระบบดังกล่าว

จากผลการวิจัยพบว่า ระบบที่ 2 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุด (80 mW, η_e = 2%) เนื่องจาก TEP ได้รับความร้อนจากเลนส์เฟรสเนลโดยตรง และใช้น้ำในการระบายความร้อนที่อุณหภูมิ 30°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ในขณะทำการทดสอบ และระบบที่ 3 เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด (η_{th} = 51 %) ผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิ 51°C ซึ่งเลนส์เฟรสเนลได้ให้ความร้อนกับ TEP ผ่านน้ำร้อนที่ได้รับความร้อนจาก solar collator

Abstract

The aim of the research is to convert solar energy into electricity energy. The researcher designed and constructed 4 different solar power and thermal generation systems using solar thermoelectricity and Fresnel lens to analysis electricity, thermal energy, energy efficacy and thermal efficiency, using the thermoelectric model of TEHP1–12635–1.2.The Fresnel lens provides the heating to the Thermoelectric Power module (TEP) through hot water from the solar collector.

The results indicated power generation of second system to be higher than the other systems (80 mW, η_e = 2%)Due to TEPhas been heated by the Fresnel lens directly. And water is used in cooling process, the lower temperature (30 °C) than the ambient air. While doing the experiment. The thermal efficiency of the third system is suitable for hot water production(η_{th} = 51 %) at51 °C

คำหลัก : เทอร์โมอิเล็กตริก, เทอร์โมอิเล็กตริกแบบเพาเวอร์โมดูล, เลนส์เฟรสเนล

Keywords: Thermoelectric, Thermoelectric Power module, Fresnel lens

1. บทนำ

เทอร์โมอิเล็กตริก (Thermoelectric ; TE) เป็นอีกอุปกรณ์หนึ่งที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกเกิดขึ้นในวัสดุที่สามารถเปลี่ยนความแตกต่างของอุณหภูมิบนวัสดุให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทันทีในตัวเอง และยังสร้างปรากฏการณ์ผันกลับได้ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนได้ (Thermoelectric Power ; TEP) และยังประยุกต์ใช้เป็นตัวสร้างความเย็นจากพลังงานไฟฟ้าได้ (Thermoelectric Cooling ; TEC) สามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาใช้ประโยชน์ได้ [1]

เลนส์เฟรสเนล (Fresnel lens ; FL) เป็นแผ่นพลาสติกใส มีคุณสมบัติคล้ายเลนส์นูน สามารถรวมแสงและความร้อนได้ จึงมีหลายงานวิจัยอาศัยคุณสมบัติของเลนส์เฟรสเนลที่มีความสามารถในการรวมแสง สามารถรวมแสงและความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ [2]

งานวิจัยนี้จึงนำแนวทางในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นกระแสไฟฟ้าโดยออกแบบและสร้างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อน โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกร่วมกับเลนส์เฟรสเนล ซึ่งจะออกแบบระบบเป็นระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เปรียบเทียบกัน 4 ระบบ คือ ระบบที่ให้ความร้อนแก่ TE โดยตรง กับ ระบบที่ให้ความร้อนแก่ TE ด้วยน้ำร้อน โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบบายอากาศแบบใช้

2. วัตถุประสงค์

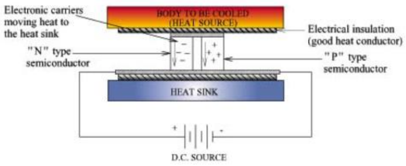
1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กตริก ร่วมกับเลนส์เฟรสเนล
2. ออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กตริก ร่วมกับเลนส์เฟรสเนล
3. ศึกษาประสิทธิภาพทางด้านไฟฟ้า และความร้อนของระบบดังกล่าว

3.แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกร่วมกับ เลนส์เฟรสเนล จึงต้องวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ของระบบ โดยมีหลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

3.1เทอร์โมอิเล็กตริก

เทอร์โมอิเล็กตริกประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิดคือสาร N-Type และสาร P-Type เมื่อให้พลังงานความร้อนที่ด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็ตริก และควบคุมอุณหภูมิอักด้านหนึ่งให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยใช้ตัวระบายความร้อน ผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จำทำให้เกิดกระแสไฟฟฟ้าเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาพลังงานไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กตริกสามารถผลิตได้ คือ พลังงานความร้อนที่ได้รับ, ระบบระบายความร้อน และจำนวนของโมดูลที่นำมาต่อร่วมกัน [3]



รูปที่ 1 โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กตริก

3.2การระบายความร้อน

การระบายความร้อนนั้น เป็นระบบที่สำคัญมากสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กตริก ในงานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบระหว่าง การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศแบบบังคับทิศทาง กับน้ำ โดยมีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ดังนี้

3.2.1 การระบายความร้อนด้วยอากาศโดยการพาความร้อนด้วยครีบแบบบังคับ

การระบายความร้อนด้วยระบบดังกล่าวนี้ จะใช้ฮีทซิงค์ (Heat Sink) เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนออกจากตัวอุปกรณ์ ค่าสัมประสิทธิ์การนาความร้อน (Thermal conductivity) พื้นที่ผิวสัมผัสก็เป็นสิ่งที่สำคัญ หากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากก็จะสามารถส่งถ่ายพลังงานความร้อนได้มาก พลังงานความร้อนที่ระบายได้จะสามารถเขียนเป็นสมการ 1

$$P=\frac{kA}{d} \quad (1)$$

3.2.2การระบายความร้อนด้วยน้ำ

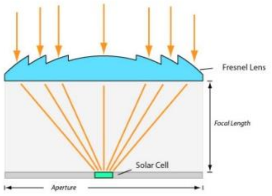
การระบายความร้อนด้วยระบบดังกล่าวนี้จะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการนำความร้อนจากที่หนึ่ง ไปยังอีกที่หนึ่ง หากนำมาประยุกต์ใช้กับเทอร์โมอิเล็กตริก จะไม่สามารถนำมาไหลผ่าน ได้โดยตรง ต้องอาศัยอุปกรณ์เสริม เช่น ฮีทซิงค์ หรือ ตลับน้ำที่ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อน ทำหน้าที่นำความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กตริกมายัง น้ำ ซึ่งปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ หากน้ำมีอัตราการไหลช้า จะทำให้ปริมาณ

ความร้อนที่น้ำได้รับ มากไปด้วย ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จาก สมการ 2[4]

$$\dot{Q}_W=\dot{m}C_p\Delta T_W \qquad (2)$$

3.4เลนส์เฟรสเนล

เลนส์เฟรสเนลมีผิวโค้งนูน ขณะที่บริเวณโครงสร้างด้านบนและด้านล่างมีลักษณะเป็นร่องเรียงซ้อนกัน เมื่อแสงตกกระทบบริเวณร่องของเลนส์ในแนวขนานจะทำให้แสงนั้นเกิดการสะท้อนและหักเหภายในเลนส์ เป็นผลให้แสงจากแหล่งกำเนิดพุ่งทแยงไปยังจุดโฟกัส[5]จึงให้หลายงานวิจัยที่นิยมนำเลนส์เฟรสเนลมาทำหน้าที่เป็นตัวรวมรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบ ดังรูปที่ 2 อีกทั้งเลนส์เฟรสเนลสามารถผลิตจากพลาสติก มีน้ำหนักเบาจึงสะดวกแก่การนำมาทดสอบกับระบบดังกล่าว



รูปที่ 2 การรวมแสงของเลนส์เฟรสเนล[6]

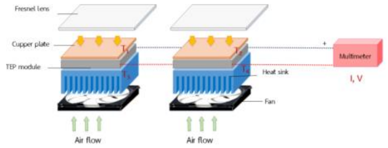
4. วิธีการวิจัย

การออกแบบระบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้า และความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกร่วมกับเลนส์เฟรสเนล จะใช้เทอร์โมอิเล็กตริกแบบเพาเวอร์โมดูล รุ่น TEHP1-12635-1.2 (8 W)ขนาด 3.5x3.5 cm (2 โมดูล/1 ระบบ) นำไปใช้ร่วมกับเลนส์เฟลสเนล ขนาด 5.5x5.5 cm (1 เลนส์/1 TEP) ซึ่งมีการออกแบบระบบเปรียบเทียบกัน 4 ระบบ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การออกแบบระบบฯ

4.1.1ระบบที่ 1

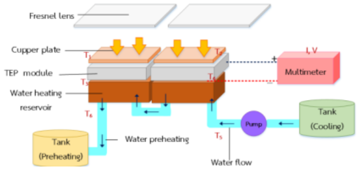
เป็นระบบผลิตกระแสไฟฟ้า โดยนำเลนส์เฟรสเนลให้ความร้อนกับ TEP โดยตรง และระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยให้เลนส์เฟรสเนล ทำหน้าที่เป็นตัวรวมแสงอาทิตย์ ลงมายังด้านบนของ เทอร์โมอิเล็กตริกโมดูล ซึ่งด้านบนของTEP จะมีแผ่นทองแดง ขนาด 3.5 x 3.5 cm และด้านล่างของ TEP จะระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 2.76 W ทำให้ระบบสามารถผลิตได้เพียงแต่พลังงานไฟฟ้าเท่านั้นดังรูปที่ 3



รูปที่ 3ไดอะแกรมระบบฯ โดยนำเลนส์เฟรสเนลให้ความร้อน กับ TEP โดยตรง และระบายความร้อนด้วยอากาศ

4.1.2 ระบบที่ 2

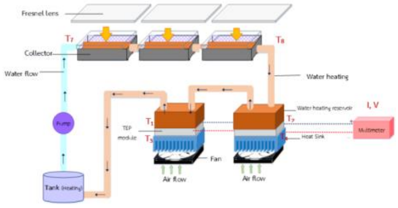
เป็นระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อน โดยนำเลนส์เฟรสเนลให้ความร้อนกับ TEP โดยตรง และระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังรูปที่ 4ในส่วนของระบายความร้อนโดยใช้น้ำไหลผ่านด้านล่าง TEP ซึ่งมีตลับทองแดง ทำหน้าที่นำความร้อนจาก TEP ไปสู่น้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเกิดเป็นน้ำอุ่น



รูปที่ 4ไดอะแกรมของระบบฯ โดยนำเลนส์เฟรสเนลให้ความร้อนกับ TEP โดยตรง และระบายความร้อนด้วยน้ำ

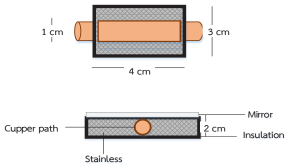
4.1.3ระบบที่ 3

ในระบบนี้ เลนส์เฟรสเนลจะทำหน้าที่เป็นตัวรวมแสงไปยัง Solar collector เพื่อผลิตน้ำร้อน แล้วนำไปหมุนเวียนให้ความร้อนแก่TEP และระบายความร้อนด้วยอากาศ ทำให้ระบบที่ 3 สามารถผลิตได้ทั้งไฟฟ้า และน้ำร้อนได้ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ไดอะแกรมของระบบฯ โดยนำเลนส์เฟรสเนลให้ความร้อนกับ TEP ผ่านน้ำร้อน และระบายความร้อนด้วยอากาศ

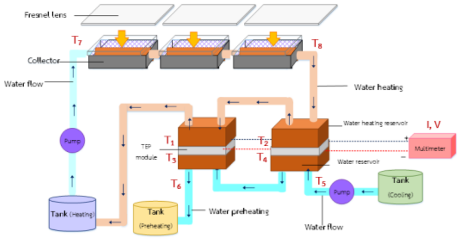
จากรูปที่ 5แสดงลักษณะของระบบ ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ระบบให้ความร้อนแก่ TEP ใช้เลนส์เฟรสเนลเป็นตัวรวมรังสีแสงอาทิตย์มายัง Solar collector ทำจาก เหล็ก ขนาด 4 x 3 x 2 cm เพื่อผลิตน้ำร้อน ซึ่งประกอบไปด้วย ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm อยู่ภายใน และมีฉนวนกันความร้อนด้านนอก ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6ไดอะแกรม ด้านบนและภาคตัดขวางของ Solar collector ที่ใช้สำหรับผลิตน้ำร้อน

4.1.4 ระบบที่ 4

เป็นระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อน โดยนำเลนส์เฟรสเนลให้ความร้อนกับ TEP ผ่านน้ำร้อน และระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังรูปที่ 7ในส่วนของการระบายความร้อน จะกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำด้านล่างเท่ากับ น้ำร้อนที่ไหลผ่านด้านบน TEP ซึ่งระบบดังกล่าวนอกจากจะผลิตกระแสไฟฟ้า น้ำร้อนแล้ว และ น้ำอุ่น



รูปที่ 7ไดอะแกรมของระบบฯ โดยนำเลนส์เฟรสเนลให้ความร้อนกับ TEP ผ่านน้ำร้อน และระบายความร้อนด้วยน้ำ

4.2 วิธีดำเนินการทดสอบระบบ

ขั้นตอนที่ 1ศึกษาและทดสอบหาระยะโฟกัส ของเลนส์เฟรสเนล 1 เลนส์ ทดสอบกับแผ่นทองแดงที่พ้นสีดำด้านขนาด 3.5 x 3.5 cm ซึ่งมีขนาดเท่ากับ TEP 1 โมดูล

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบ และศึกษาตัวแปรต่างๆของทั้ง 4 ระบบ โดยทำการบันทึกผลการทดสอบทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมง คือ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 17.00 น. โดยตัวแปรที่เราพิจารณา คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ (G_t) อุณหภูมิอากาศ (T_a) กระแสไฟฟ้า (I) แรงดันไฟฟ้า (V) อุณหภูมิด้านร้อน (T_h) –ด้านเย็น (T_c) ของเทอร์โมอิเล็กตริก และอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้า ($T_{w\ (in)}$) – ไหลออก ($T_{w\ (out)}$) ของระบบ

ขั้นตอนที่ 3วิเคราะห์ผลการทดสอบของทั้ง 4 ระบบโดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของระบบ ตามทฤษฎีดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์ด้านพลังงานไฟฟ้า

- คำนวณกำลังไฟฟ้าที่ระบบสามารถผลิตได้

$$P = I \times V \qquad (7)$$

- การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

$$\eta_e = \left(\frac{P_{max}}{A_{FL} G_t}\right) \times 100\% \qquad (8)$$

2) วิเคราะห์ด้านพลังงานความร้อน

- คำนวณปริมาณความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้

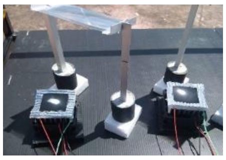
$$\dot{Q}_W = \dot{m} C_p \Delta T_W$$

- การวิเคราะห์ประสิทธิเชิงความร้อนของระบบ

$$\eta_{th} = \left(\frac{\dot{Q}_w}{A_{FL} G_t}\right) \times 100\% \qquad (9)$$

5. ผลการทดสอบ

ในการทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ทั้ง 4 ระบบ จะใช้ระยะโฟกัสของเลนส์เฟรสเนลเท่ากับ 14 cm และอัตราการไหลของน้ำที่ 0.83 cm^3/sดังรูปที่ 8โดยศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติเชิงความร้อนของระบบ มีรายละเอียดดังนี้1


(ก)

(ข)

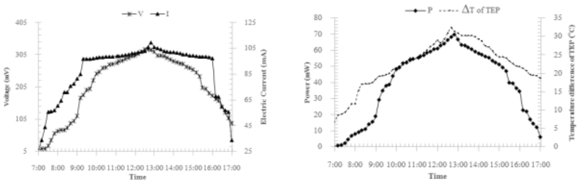
(ค)

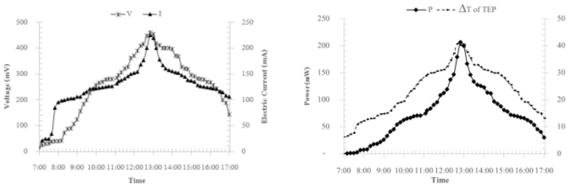
(ง)

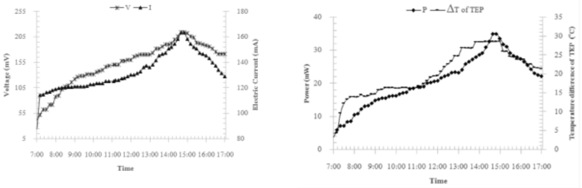
รูปที่ 8 (ก) การทดสอบระบบฯ โดยนำเลนส์เฟรสเนล ให้ความร้อนกับ TEP โดยตรง และระบายความร้อนด้วยอากาศ
(ข)การทดสอบระบบฯ โดยนำเลนส์ เฟรสเนล ให้ความร้อนกับ TEP โดยตรง และระบายความร้อน ด้วยน้ำ
(ค)การทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้า และพลังงานความร้อน โดยใช้ เลนส์เฟรสเนล ให้ความร้อน กับ TEP และระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยใช้ พัดลมระบายอากาศ
(ง)การทดสอบระบบฯ โดยใช้เลนส์เฟรสเนให้ความร้อน กับ TEP และระบายความร้อนด้วยน้ำ

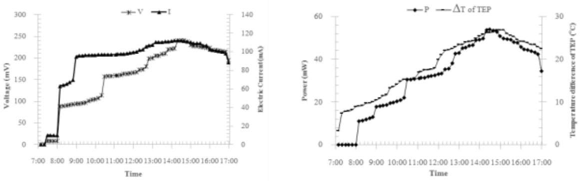
5.1ผลการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า

การทดสอบระบบฯ ศึกษาแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับผลต่างอุณหภูมิของ TEP ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 9


ระบบที่ 1


ระบบที่ 2


ระบบที่ 3


ระบบที่ 4

รูปที่ 9 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของทั้ง 4 ระบบ

ผลการทดสอบระบบที่ 1 ปริมาณแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ อยู่ในช่วงเวลา 12:30 น. คือ 322 mV เฉลี่ยอยู่ที่ 208 mV และปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ อยู่ในช่วงเวลา 12:50 น. คือ 109 mAเฉลี่ยอยู่ที่ 87mA กำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 70 mW ที่เวลา 13:00 น. เฉลี่ยอยู่ที่ 40 mW และผลต่างอุณหภูมิของด้านร้อน – เย็น ของ TEP สูงสุดอยู่ที่ 32 ^{o}C ที่เวลา 12:40 น. เฉลี่ยอยู่ที่ 22 ^{o}C

ผลการทดสอบระบบที่ 2 ปริมาณแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ อยู่ในช่วงเวลา 12:50 น. คือ 460 mV เฉลี่ยอยู ที่ 255mV และปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ อยู่ในช่วงเวลา 12:50 น. คือ 225 mAเฉลี่ยอยู่ที่ 126 mA กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบ สามารถผลิตได้ เท่ากับ 207 mW เฉลี่ยอยู่ที่ 74 mW และผลต่างอุณหภูมิของด้านร้อน – เย็น ของ TEP สูงสุดอยู่ที่ 41 ^{o}Cเฉลี่ยอยู่ที่23 ^{o}C

ผลการทดสอบระบบที่ 3 ปริมาณแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ อยู่ในช่วงเวลา 14:40 น. คือ 213 mV เฉลี่ยอยู่ที่ 152 mV และปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ อยู่ในช่วงเวลา 12:50 น. คือ 163 mA เฉลี่ยอยู่ที่ 133 mA กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบ สามารถผลิตได้ เท่ากับ 35 mW อยู่ในช่วงเวลา 14:30 น. เฉลี่ยอยู่ที่ 20 mWและผลต่าง

อุณหภูมิของด้านร้อน – เย็น ของTEP สูงสุดอยู่ที่ 29 °C เฉลี่ยอยู่ที่ 18°C

ผลการทดสอบระบบที่ 4 ปริมาณแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 15:00 น. คือ 245 mV เฉลี่ยนอยู่ที่ 154 mV และปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ อยู่ในช่วงเวลา 15:40 น. คือ 151 mA เฉลี่ยอยู่ที่ 98 mAกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบ สามารถผลิตได้ เท่ากับ 35 mW อยู่ในช่วงเวลา 14:30 น. เฉลี่ยอยู่ที่ 20 mWและผลต่างอุณหภูมิของด้านร้อน – เย็น ของTEP สูงสุดอยู่ที่ 29 °C เฉลี่ยอยู่ที่ 18 °C

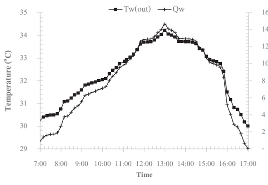
5.2ผลการศึกษาสมบัติเชิงความร้อน

การทดสอบระบบฯศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา และปริมาณพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับ มีผลการทดสอบดังรูปที่ 10

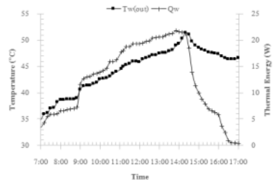
ระบบที่ 2

ผลการทดสอบระบบที่ 2 สามารถผลิตได้สูงสุด มีค่าเท่ากับ 15 W และอุณหภูมิของน้ำไหลสูงสุดอยู่ที่ มีค่าเท่ากับ 34 °C

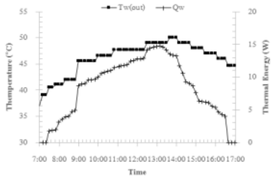
ผลการทดสอบระบบที่ 3 สามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงที่สุด คือ 51 °C อยู่ในช่วงเวลา 14:20 น. และปริมาณพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับ สุดสูง เท่ากับ 22 W



ระบบที่ 2



ระบบที่ 3



ระบบที่ 4

รูปที่ 10 ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของแต่ละระบบ

ผลการทดสอบระบบที่ 4สามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงที่สุด คือ 50 °C อยู่ในช่วงเวลา 14:20 น. และปริมาณพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับ สุดสูง เท่ากับ 22 W

ตารางค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ และการคำนวณ ของแต่ละระบบ

ระบบ / ตัวแปร	ระบบที่ 1		ระบบที่ 2		ระบบที่ 3		ระบบที่ 4	
	max	avg	max	avg	max	avg	max	avg
G (W/m^2)	954	582	964	554	1,015	615	1,083	713
T_a (°C)	32	30	33	30	32	30	34	33
T_h (°C)	65	53	63	52	61	51	59	49
T_c (°C)	38	33	32	30	38	33	32	30
$T_{w(in)}$ (°C)	-	-	30	30	30	30	50	30
$T_{w(out)}$ (°C)	-	-	34	32	51	45	55	44
V (mV)	322	208	460	255	213	152	245	154
I (mA)	109	87	225	126	163	133	151	98
P (mW)	35	18	117	32	35	20	40	15
η_e (%)	0.920	0.659	2.321	1.228	0.773	0.263	1.147	0.427
η_{th} (%)	-	-	5.756	1.798	55.375	47.080	53.504	41.596

จากตารางที่ 6 แสดงค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ และการคำนวณ ของแต่ละระบบ พบว่า ระบบที่ 2 มีสมบัติทางไฟฟ้า และประสิทธิภาพทางไฟฟ้า มากที่สุด ส่วนในระบบที่ 3 และ มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง

6.สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบระบบทั้ง 4 ระบบ โดยศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติทางความร้อน ของแต่ละระบบ พบว่า ระบบที่ 2 หรือ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้า และพลังงานความร้อน โดยใช้เลนส์เฟรสเนลให้ความร้อนกับ TEP โดยตรง และระบายความร้อน ด้วยน้ำ สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุด คือ 80mW เฉลี่ยอยู่ที่ 32 mW ซึ่งมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 2 % เฉลี่ยอยู่ที่ 0.8 % แต่ในส่วนของประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการผลิตพลังงานความร้อน จะมีค่าเพียง 5 % ซึ่งสามารถผลิตพลังงานงานความร้อนในรูปของน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 35 ^{o}C ดังนั้น ระบบที่ 2 จึงเหมาะแก่การผลิตพลังงานไฟฟ้า มากกว่าผลิตพลังงานความร้อน และหากพิจารณา ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบสามารถผลิตได้ พบว่ามีค่าที่น้อยมาก ยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากขนาดของเลนส์เฟรสที่ใช้ มีขนาดเล็ก สามารถส่งความร้อนให้กับระบบ ประมาณ 2.4 W ต่อ 1 เลนส์ ทำให้ TEP มีผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อย

ในส่วนของการศึกษาสมบัติเชิงความร้อน พบว่า ระบบที่สามารถผลิตพลังงานความร้อนในรูปของน้ำร้อนได้ดี ที่สุด คือ ระบบที่ 3 คือ ระบบผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยใช้เลนส์เฟรสเนลให้ความร้อนกับ TEP ผ่านน้ำร้อน และระบายความร้อนด้วยอากาศ สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 51 ^{o}C และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 57 % เฉลี่ยอยู่ที่ 46 % แต่ในส่วนของประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบ จะมีค่าเฉลี่ยเพียง 0.2 % ดังนั้น ระบบที่ 3 จึงเหมาะแก่การผลิตพลังงานความร้อนในรูปของน้ำร้อนมากกว่าผลิตพลังงานไฟฟ้า

7. ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกร่วมกับเลนส์เฟรสเนล ซึ่งการนำเลนส์เฟรสเนล มาประยุกต์ใช้กับเทอร์โมอิเล็กตริก เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งหากเลนส์เฟรสเนลมีขนาดหรือพื้นที่รับแสงมาก ก็จะทำให้ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้นเช่น ร่วมถึงการผลิตพลังงานความร้อนในรูปของน้ำร้อนด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ในการทำวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉันทนา พันธุ์เหล็ก ที่เสียสละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษา พร้อมทั้งให้ความรู้แนวคิดและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ดร.บัณฑูร เวียงมูล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน สังกัด กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนทุนการวิจัย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แก่นิสิตระดับปริญญาตรี ประจำปีงบประมาณ 2555

9. เอกสารอ้างอิง

[1] เชรษฐา รัตนพันธ์, (2557). **การปรับปรุงสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของเดลาฟอสไซท์ฐานทองแดงด้วยการเจือแทนที่บางส่วน**. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปี ที่ 23 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2557.

[2] ฐิติพงษ์ อุ่นใจ. (2550) . **เครื่องอบแห้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนทิ้งจากห้องเผาไหม้ชีวมวล**. มหาวิทยาลัยนเรศวร

[3] สมชาย มณีวรรณ, อนุสรณ์ วรสิงห์, (2553). **การเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กตริก ระหว่างคูลลิ่งโมดูลและเพาเวอร์โมดูล**. มหาวิทยาลัยนเรศวร[4]

[4] ณรงค์ วัชรเสถียร. (2548). **การผลิตกำลังไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์.** เทคโนโลยีพลังงาน

[5] Y. Tripanagnostopoulos, Ch. Siabekou, J.K. Tonui. (2007). **The Fresnel lens concept for solar control of buildings**. Solar Energy 81 661–675.

[6] M. Lin, K. Sumathy , Y.J. Dai , X.K. Zhao. (2014). **Performance investigation on a linear Fresnel lens solar collector using cavity receiver**. Solar Energy 107 50–62.

[7] พลอยไพลิน ประกิจ, (2557). **ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทอร์โมอิเล็กตริกแบบเพาเวอร์โมดูลโดยใช้ Fresnel lens เป็นตัวรวมแสง**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

[9] M. Hasan Nia, A. Abbas Nejad, A.M. Goudarzi, M. Valizadeh, P. Samadian. (2014). **Cogeneration solar system using thermoelectric module and fresnel lens**. Energy Conversion and Management 84 305–310.

[10] นพพร พัชรประกิติ, ยุทธสิทธิ์ แสนเรือน และพันธ์ชัย กาวิชัย, (2550). **ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานเทอร์โมอิเล็กทริก**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

[11] อนุสรณ์ สุขเกษม, (2550). **การศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยการพาของครีบแท่งทรงกระบอก.** มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[12] วิทยาศาสตร์ราชมงคล.**เลนส์เฟรสเนล.**สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2558, จาก nuclear.rmutphysics.com/

[15]Green Rhino Energy. **Concentrating Photovoltaics (CPV)** .สืบค้นเมื่อ 10กรกฎาคม 2558, จาก www.greenrhinoenergy.com

[13] Naichia Yeh.(2010) .**Analysis of spectrum distribution and optical losses under Fresnel lenses**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 2926–2935

[13] สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน), 2558**. เทอร์โมอิเล็กทริกส์ Thermoelectrics**. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2558. จากwww.slri.or.th/th/

[14] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. **มารู้จักเลนส์เฟรสแนล.** สืบค้นเมื่อ 6 กรกฎาคม 2558. จาก www.nstda.or.th/

[15] รศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย, 2557. **ตำราประกอบการสอนวิชา 514 523 รังสีอาทิตย์**ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยศิลปากร. พิมพ์ครั้งที่ 1

[16] ชมพูนุท พรรษา,2557.**การศึกษาและทดสอบสมรรถนะตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบรางพาราโบลา.** สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2557. จาก www.pnru.ac.th/offi

[17] Maneewan, S " **Thermoelectric clean technology** ", Technic Magazines, Vol. 21, Nol. 235, pp. 145-151, 2004

[18] How Stuff Works Fresnel Lens. สืบค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2558. จากsci4fun.com/fresnal_lens/

[19] ผศ.ดร.ปรียาพร โกษา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. **ชลศาสตร์.** สืบค้นเมื่อ 14 พฤษภาคม 2558. จาก eng.sut.ac.th/ce/

[20] ภัทราวุธ จารึกพาณิชย์, วัลลภ ปานสุด, สุรศักดิ์ เครือเป็ง. (2552). **การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล**. มหาวิทยาลัยนเรศวร

[21] ผศ.ดร.อาทิตย์ คูณศรีสุ, **การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)**. สืบค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2558. จาก eng.sut.ac.th/

[23] Chuntithon Thangtongkum, (2006).**การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เลนส์เฟรสเนลเป็นตัวรวมแสง**, M.S.in Renewable Energy Narasuan University,

[24] **Convective Heat Transfer Convection Equation and Calculator**, (2015). สืบค้นเมื่อ 5 กรกฎาคม 2558. จาก www.engineersedge.com/heat_transfer

[25] Rahman Mahmudur. (1998).**thermoelectric power generation for battery charging**. n.p. :n.p.

[26] ชัยธวัช ชูชัย, สรอรรถ ธนูศิลป์, (2555). **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. บรรณานุกรม (ต่อ)

[27] Amir Yadollah Faraji, Aliakbar Akbarzadeh. (2014). **Analysis of a symbiotic thermoelectric system for power generation and liquid preheating**. Applied Thermal Engineering 71 (2014) 501-507

การออกแบบสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำพลังงานแสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่สำหรับชุมชน

Design of Low Voltage Solar Electric Vehicles Charging Station and Battery Storage System for Community

วศิน เหลืองประดิษฐ์กุล[1] วรจิตต์ เศรษฐพรรค์[1] ชวิศ จิตรวิจารณ์[1] พสุ ปราโมกข์ชน[1]
พรรณิการ์ อุทธวัง[1] ณัฐิยา ตันตรานนท์[1] และ หทัยทิพย์ นิลสนธิ[1]

Wasin Luengpraditkul Worajit Setthapun Chawit Chitwcharn
Pannika Utthawang Nuttiya Tantranont Hathaithip Ninsonti

[1]วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300
*E-mail : hathaithip.nin@gmail.com, +6653-885-871

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ โดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบแบตเตอรี่ที่ใช้มีขนาดกำลังเท่ากับ 2.64 กิโลวัตต์ และ9.6 กิโลวัตต์ตามลำดับสำหรับเครื่องอัดประจุ มีช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน65-150 โวลต์กระแสตรง จากผลการทดลองพบว่าระบบการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงต่ำและระบบการอัดประจุแบตเตอรี่สถานี จะใช้เวลาในการอัดประจุที่ใกล้เคียงกัน และระบบส่องแสงสว่าง สามารถทำงานได้ โดยใช้กำลังไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่ประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ต่อ 12 ชั่วโมงและใช้เวลาอัดประจุคืนให้แบตเตอรี่สถานี ภายใน 2-3 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับปริมาณแสงอาทิตย์

Abstract

This research presents the design of low voltage electrical vehicle solar charging station and battery storage system. The capacity of photovoltaic and battery system used in this research was 2.64 and 9.6 kW, respectively. Charger unit could be operated in the range of 65-150 VDC. From the results, it was found thatlow voltage electrical vehicle and battery hadsimilar charging time. During the system evaluation, lighting of charging stationconsumed 24% of the total battery power for 12 h operation. For the overall of the system, the battery can be fully charged within 2-3 hours depending on the solar intensity.

คำสำคัญ: สถานีอัดประจุ, ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ, ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่, ยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ

1. บทนำ

เนื่องจากพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นหลักในการดำรงชีวิตของมนุษย์โดยการเพิ่มจำนวนของประชากรทำให้มีการใช้พลังงานที่มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่ผลิตจากทรัพยากรฟอสซิลเป็นหลัก ส่งผลให้ในปัจจุบันมีปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลลดน้อยลงมากและใกล้หมด รวมไปถึงผลกระทบจากการใช้พลังงานฟอสซิลที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ทำให้พลังงานทดแทนได้มีบทบาทสำคัญในการเป็นพลังงานทางเลือกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยและสามารถนำมาใช้

ทดแทนการผลิตไฟฟ้าด้วยฟอสซิลได้ การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนที่กำลังได้รับความนิยมสูง เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด ประกอบกับการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าที่ไม่ก่อมลพิษกับสิ่งแวดล้อม ทางผู้วิจัยจึงได้นำระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้ในการอัดประจุให้ยานยนต์ไฟฟ้า รวมไปถึงใช้ในระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าและใช้ในระบบส่องแสงสว่างภายในพื้นที่รอบๆสถานี เพื่อเพิ่มแสงสว่างให้พื้นที่ในชุมชนได้

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อออกแบบสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำให้เหมาะสมกับชุมชน

2.2 เพื่อออกแบบระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบตเตอรี่ให้เหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้งานระบบส่องแสงสว่างของสถานีอัดประจุ

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Capassoและคณะ[1]ได้ศึกษาทดลองของสถานีอัดประจุกระแสตรงสำหรับไฟฟ้าเต็มรูปแบบยานพาหนะไฮบริด โดยในงานวิจัยนี้ใช้พลังงานทดแทนพลังงานลม และพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ เชื่อมต่อระบบออนกริดรูปแบบ ไมโครกริดกระแสตรง และใช้ระบบการกักเก็บพลังงานในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบออนกริด นอกจากนี้ ได้ศึกษาและทดลองการนำพลังงานจากยานยนต์ไฟฟ้า มาเสริมพลังงานไฟฟ้าสำรองให้สถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า นอกจากนี้ระบบยังมีการนำเข้าข้อมูลทางไฟฟ้า ตั้งแต่ระบบการผลิตไฟฟ้าของพลังงานทดแทน กระแสไฟฟ้าออนกริดและระบบกักเก็บพลังงาน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสถานีอัดประจุกระแสตรงสำหรับไฟฟ้าเต็มรูปแบบยานพาหนะไฮบริดมีประสิทธิการกักพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและใช้ระบบกักเก็บพลังงานในการอัดประจุยานยนต์ได้

Hermanและคณะ [3] ได้ศึกษาและออกแบบสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กจากพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ในพื้นที่ D.R.Congo โดยในงานวิจัยนี้ใช้พลังงานทดแทนเชื่อมต่อกับระบบออนกริดของสายส่งไฟฟ้าและมีระบบจัดการพลังงาน โดยมีการหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหรือไฟฟ้าจากระบบออนกริด เพื่อเลือกใช้พลังงานทดแทนเป็นหลักในการอัดประจุให้ยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก การดำเนินงาน มีการวิเคราะห์และระบบประมวลผลตัดสินใจในการเลือกพลังงานอัดประจุให้ยานยนต์ไฟฟ้าและเปรียบเทียบอุปกรณ์การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่อายุการใช้งานของโครงการ 20 ปีเพื่อความคุ้มค่าในการดำเนินงาน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการนำพลังงานทดแทนมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้เป็นแหล่งพลังงานในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน พบว่ามีการนำพลังงานรูปแบบอื่นมาใช้ผสมผสานเพื่อเพิ่มประสิทธิการทำงานการทำงานของระบบอัดประจุยานยนต์ เนื่องจากพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในการผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้แสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า นั้นหมายความว่าสามารถผลิตไฟฟ้าและอัดประจุได้เฉพาะในช่วงกลางวันหรือวันที่มีแสงอาทิตย์เท่านั้น หากไม่มีการอัดประจุความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่เกิดประโยชน์ ทางผู้วิจัยจึงได้นำเสนอ การนำระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มาใช้ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

4. วิธีการวิจัย

4.1การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ

วิธีการคำนวณกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ โดยตรวจสอบจากคุณสมบัติของอุปกรณ์อัดประจุที่ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ

ตารางที่ 1คุณสมบัติเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า[4]

DC OUTPUT Charge	
DC voltage (VDC) (Start of charge cycle)	48 VDC
DC current (amps) (Start of charge cycle)	17 Amps
DC voltage (VDC) (end of charge cycle)	60 VDC
DC current (amps) (end of charge cycle)	4.7 Amps

ตารางที่ 2คุณสมบัติแหล่งพลังงานยานยนต์ไฟฟ้า [5]

แบตเตอรี่ Trojan T-875				
Capacity Minutes		Capacity Amp-Hour		
@ 25Amps	@56 Amps	5-Hr	10-Hr	20-Hr
295	117	145	155	170
System Voltage		Voltage (48V)		
Bulk Charge		59.3		
Float Charge		54.0		
Equalize		64.3		
Percentage Charge		8 Volt (48Volt)		
100		8.49 (50.94)		
90		8.41 (50.46)		
80		8.33 (49.98)		
70		8.25 (49.50)		
60		8.16 (48.96)		
50		8.07 (48.42)		
40		7.97 (47.82)		
30		7.88 (47.28)		
20		7.77 (46.62)		
10		7.67 (46.02)		

จากตารางที่ 1 และ 2 คุณสมบัติของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำและแหล่งพลังงานยานยนต์ไฟฟ้า มีแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรง ที่ 48 โวลต์กระแสตรงช่วงอัดประจุอยู่ที่ 48-60โวลต์

4.2 คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าในระบบส่องแสงสว่างและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

วิธีการคำนวณกำลังไฟฟ้าระบบส่องแสงสว่างในสถานีอัดประจุที่ใช้งานโดยตรวจสอบจากคุณสมบัติของค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผู้ผลิตระบุในคู่มือหรือฉลากบรรจุภัณฑ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้า

ตารางที่ 3คุณสมบัติของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบส่องแสงสว่าง

รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าระบบส่องแสงสว่าง		
ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	วัตต์x ชั่วโมง	วัตต์
Light T8 8 หลอด	144x12	1,728
Flood Lights Eve3 หลอด	30x12	360
รวมระบบส่องแสงสว่าง	174x12	2,088

การใช้งานในระบบส่องแสงสว่างจะใช้กำลังไฟฟ้า174 วัตต์ต่อชั่วโมง ใช้งานทั้งหมด 12 ชั่วโมง รวมเป็น 2,088วัตต์ต่อ 12 ชั่วโมง และเผื่อสำรองใช้งานต่อเนื่องที่ 48 ชั่วโมง= 174x 36ชั่วโมง = 6,264วัตต์

ในการคำนวณระบบกักเก็บพลังงานจะสอดคล้องจะต้องคิดค่ากำลังไฟฟ้าที่มากกว่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้า ซึ่งในระบบกักเก็บพลังงานจะใช้เครื่องอินเวอร์เตอร์ APOLLO SGP – 210 [5]ทำหน้าที่แปลงกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้เป็นกระแสสลับ โดยมีประสิทธิในการแปลงมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์กับแรงดันแบตเตอรี่ที่ 48โวลต์โดยคำนวณกระแสแบตเตอรี่ที่เหมาะสมได้ดังดังสมการที่ (1) - (2)

$$\text{กระแสของแบตเตอรี่} + 30\% = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าระบบส่องแสงสว่าง}}{\text{แรงดันแบตเตอรี่}} \quad (1)$$

$$\text{กระแสของแบตเตอรี่} + 30\% = \frac{6{,}264 \text{ W}}{48 \text{ V}} \quad (2)$$

กระแสของแบตเตอรี่ = 169.65 แอมป์

กำลังไฟฟ้าหลังแปลง (วัตต์)= กำลังไฟฟ้าก่อนแปลง x 90 % (3)

8,640 วัตต์ = 9,600x 90 %

งานวิจัยนี้เลือกใช้แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์200 แอมป์ จำนวน 4 ยูนิต มีกำลังไฟฟ้าที่ 9.6กิโลวัตต์ซึ่งสามารถคำนวณประสิทธิภาพจากการแปลงเป็นกระแสสลับ มีการใช้งานกำลังไฟฟ้าที่ 6,264 วัตต์ ซึ่งคิดกับกำลังไฟฟ้าหลังผ่านการแปลงกระแสแล้ว คิดเป็น 72 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะสมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

4.3 คำนวณกำลังการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องอัดประจุที่เหมาะสม

จากการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่และเครื่องแปลงกระแสสำหรับระบบส่องแสงสว่าง ใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 48 โวลต์ กระแสที่เหมาะสมกับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า อยู่ที่ 17 แอมป์ และระบบกักเก็บพลังงาน อยู่ที่ 20 แอมป์ (การอัดประจุที่1/10 ของความจุแบตเตอรี่) งานวิจัยนี้เลือกเครื่องอัดประจุ LEONICS SOLARCON SPT-4830 [6] และใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.64kWโดยคิดคำนวณขนาดของวัตต์แผงได้ดังสมการที่ (4)

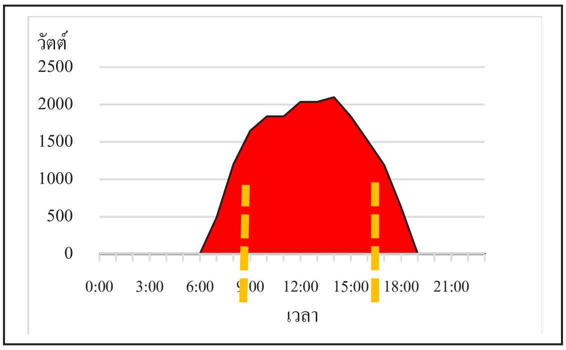
$$\text{กระแสขาเข้าเครื่องอัดประจุ} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าขาเข้าสูงสุด}}{\text{แรงดันเครื่องอัดประจุเริ่มทำงาน}} \quad (4)$$

$$\text{กระแสขาเข้าเครื่องอัดประจุ} = \frac{1{,}600 \text{ วัตต์}}{65 \text{ โวลต์}}$$

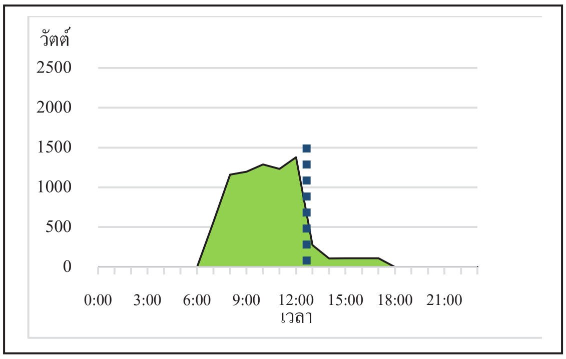
กระแสขาเข้าเครื่องอัดประจุ = 24.61 แอมป์

เครื่องอัดประจุ มีช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน 65-150 โวลต์กระแสตรง ซึ่งตัวเครื่องอัดประจุต้องการกระแสขาเข้าที่ 24.61แอมป์ ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้งาน แผงเซลล์อาทิตย์ ชนิดฟิล์มบาง 110 โวลต์ กระแส 0.99 แอมป์ จำนวน 24 แผง มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 2.64 กิโลวัตต์ ซึ่งคุณสมบัติของแผงชนิดนี้ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในขณะที่มีความเข้มแสงน้อย

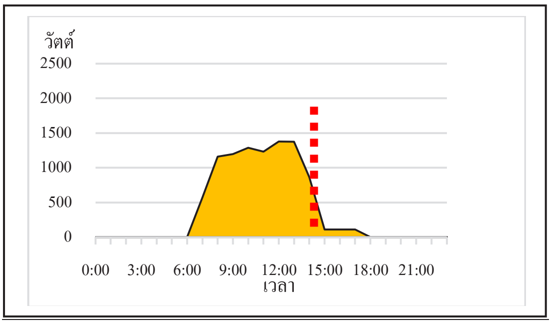
รูปที่ 1 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาป้ายหยุดรถ



รูปที่ 2การผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3 การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ



รูปที่ 4 การอัดประจุแบตเตอรี่สถานี

5. ผลการวิจัย

5.1 การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ

จากรูปที่ 2 กราฟการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระกำลังการผลิตในช่วงเวลา 09.00 น.-16.00 น. (เส้นประสีเหลือง) จะมีกำลังมากกว่า 1,500 วัตต์ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงและมุมแผงของโซล่าเซลล์ได้รับแสงอาทิตย์เป็นเวลานาน ซึ่งความเข้มแสงของดวงอาทิตย์จะไม่มีความแน่นอน จะปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ก้อนเมฆบดบังแสง ฝุ่นบนแผงโซล่าเซลล์

จากรูปที่ 3กราฟการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำการอัดประจุในช่วงเวลาเช้าที่เริ่มผลิตไฟฟ้าได้ (ช่วงที่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซล่าเซลล์)ใช้เวลาโดยประมาณ 7 ชั่วโมง ซึ่งเวลาในการอัดประจุอาจจะใช้เวลาสั้นลงหรือนานขึ้น ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย เมื่ออัดประจุไปสักประมาณ 4-6 ชั่วโมง (กรณีอัดประจุแบตเตอรี่ที่มีกำลังเหลือน้อย) กำลังไฟฟ้าที่อัดประจุจะค่อยๆลดจนคงที่(หลังเส้นประสีน้ำเงิน) นั่นคือ แบตเตอรี่ยานยนต์มีความจุใกล้เต็ม หรือเต็มแล้วสามารถนำยานยนต์ไปใช้งานได้

5.2การอัดประจุแบตเตอรี่สถานี

จากรูปที่ 4กราฟการอัดประจุแบตเตอรี่สถานีจากการทดลองการอ่านค่ากำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ของสถานีการอัดประจุในช่วงเวลาเช้าที่เริ่มผลิตไฟฟ้าได้ (ช่วงที่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซล่าเซลล์) ใช้เวลาประมาณ 8-9 ชั่วโมง (กรณีอัดประจุแบตเตอรี่ที่มีกำลังเหลือน้อย)กำลังไฟฟ้าที่อัดประจุจะค่อยๆลดจนคงที่ (หลังเส้นประสีแดง) นั้นคือ แบตเตอรี่สถานีมีความจุใกล้เต็ม หรือเต็มแล้วสามารถนำไปใช้งานได้

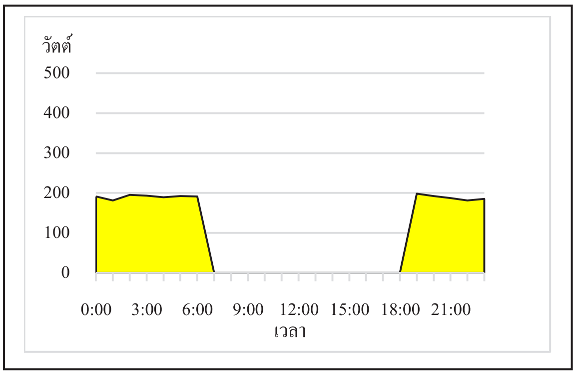
5.3การใช้ไฟฟ้าระบบส่องแสงสว่าง

จากรูปที่ 8 กราฟการใช้งานระบบส่องแสงสว่างโดยเฉลี่ยกินกำลังไฟฟ้าที่ 189 วัตต์ต่อชั่วโมง เปิดใช้งานตั้งแต่เวลา1ทุ่ม -6 โมงเช้า รวม 12 ชั่วโมง กินกำลังไฟฟ้าที่ประมาณ 2,300 วัตต์ ซึ่งประสิทธิของเครื่องแปลงกระแสมีการแกว่งขึ้น-ลง จากการแปลงกระแสตรงเป็นกระแสสลับ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

รูปที่5 ระบบส่องแสงสว่างป้ายทางเข้าวิทยาลัย ด้านขวา

รูปที่ 6 ระบบส่องแสงสว่างหน้าป้ายวิทยาลัย ด้านซ้าย

รูปที่ 7 ระบบส่องแสงสว่างสถานีอัดประจุ



รูปที่ 8 การใช้งานระบบส่องแสงสว่าง

6. อภิปลายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการทดสอบสถานีอัดประจุ พบว่าระบบการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงต่ำและระบบการอัดประจุแบตเตอรี่สถานี จะใช้เวลาในการอัดประจุที่ใกล้เคียงกัน แต่จะใช้เวลาอัดประจุแบตเตอรี่สถานีนานกว่า เนื่องจาก แบตเตอรี่สถานีมีความจุเยอะกว่าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และแบตเตอรี่สถานีสามารถนำไปใช้งานระบบส่องแสงสว่างได้ ใช้กำลังไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่ประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ต่อ 12 ชั่วโมง(จากการตารางคุณสมบัติเครื่องใช้ไฟฟ้า) และใช้เวลาอัดประจุคืนให้แบตเตอรี่สถานี ภายใน 2-3 ชั่วโมง (กรณีมีแสงแดดปกติ) ในวันถัดไปหลังจากมีการใช้งานแบตเตอรี่ คิดจากความจุที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่สถานี

7. สรุป

จากเทคนิคการออกแบบสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันต่ำและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับชุมชนและเพียงพอต่อการใช้งาน โดยใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดจะช่วยลดการปลดปล่อยมลพิษจากกิจวัตรประจำของคนในชุมชน เนื่องจากลดการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้า ซึ่งใช้ฟอสซิลเป็นหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้า

การใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในการเดินทางและระบบส่องแสงสว่าง เป็นสิ่งจำเป็นในการดำเนินชีวิตของคนในชุมชน ด้วยเทคนิคดังกล่าว สามารถดึงประสิทธิของสถานอัดประจุซึ่งมีแหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานได้เหมาะสมโดยมีการคำนวณการใช้พลังงานในการอัดประจุยานยนต์ การผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ตามคุณสมบัติของอุปกรณ์และการใช้งานของระบบส่องแสงสว่างภายในชุมชน ที่ใช้งานเฉพาะช่วงเวลากลางคืน ซึ่งเพียงพอและเหมาะสมกับชุมชนในพื้นที่ติดตั้งสถานี

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชียมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนงบประมาณ และสถานที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Capasso, C., and Veneri, O. (2015). Experimental study of a DC charging station for full electric and plug in hybrid vehicles**. Applied Energy**152 :131-142.

[2] Herman,J.,and Kanzumba, K. (2013). Design of a photovoltaic–wind charging station for small electric Tuk–tuk in D.R.Congo. **Renewable Energy**67 : 40-45.

[4] POWERDRIVE BATTERY CHARGER OWNER'S MANUAL [Apparatus].(2013). Club Car LLC: Augusta, Georgia 30917-4658 USA

[5] T-875 [Apparatus].(2016). Trojan Battery Company: trojanbattery.com

[6] APOLLO SGP – 210[Apparatus].(2005).LEO ELECTRONICS CO.,LTD.:www.leonics.com

[7] LEONICS SOLARCON SPT-series[Apparatus].(2008).LEO ELECTRONICS CO.,LTD.:www.leonics.com

ผลกระทบจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTV ร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

Impact on Technology Transfer of eDLTVlearning with PV System

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,2*] ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1,2] เฉลิมชัย สังโยคะ[1,2] อรพรรณ ธนะขว้าง[1]
ประพิธาริ์ ธนารักษ์[3] พิสิษฏ์ มณีโชติ[3] และวีระบูลย์ กิตติ ชุมพรผ่อง[1]

Nattawut Khaosaad 1,2* SakchaiPetsuwan 1,2 Chalamchai sangyoka1,2 Orrapun thanakwang1Prapita Thanarak 3Pisit Maneechot3 and Veeraboonkitt Chumpronpong1

[1,*]คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก65000
โทร 0-5523-0597 โทรสาร 0-5523-0597 E-mail: nattawutkhao@gmail.com, sakchai@psru.ac.th
[2]สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง(โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก65000
โทร 0-5523-0598 โทรสาร 0-5523-0598 E-mail: nattawutkhao@gmail.com, sakchai@psru.ac.th
[3]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก65000
โทร 0-5596-3193 โทรสาร 0-5596-3182 E-mail: prapitat@nu.ac.th, pisitm@nu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการประเมินผลที่ได้รับจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนอาทร อ.นครไทย จ.พิษณุโลกซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลักโดยใช้การสัมภาษณ์คณะครู นักเรียน และประชาชนทั่วไปที่ได้ใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ทราบถึงผลที่เป็นประโยชน์ที่ได้รับและผลการศึกษาพบว่าด้านมิติทางสังคมครูนักเรียนและประชาชนทั่วไปสามารถนำเข้าใจเกี่ยวกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และพัฒนาต่อยอดความรู้โดยการนำไปประยุกต์ใช้ในชุมชนของตนเอง รวมทั้งนำความรู้ที่ได้ไปถ่ายทอดให้แก่ชุมชนอื่นๆ ต่อไป และโรงเรียนได้จัดทำเป็นแหล่งเรียนรู้ที่เน้นการให้ปฏิบัติจริง อย่างมีส่วนร่วมระหว่างโรงเรียนกับชุมชนด้านมิติทางเศรษฐกิจช่วยลดรายจ่ายเรื่องค่าไฟฟ้า และเพิ่มคุณภาพไฟฟ้าให้แก่โรงเรียน หากขยายผลไปทั่วชุมชนจะทำให้ชุมชนลดรายจ่ายได้อีกทางหนึ่งด้านมิติทางวัฒนธรรมครูนักเรียนและประชาชนทั่วไปยังคงวัฒนธรรมการใช้ชีวิตเช่นเดิมและมีการเรียนรู้ร่วมกันมากขึ้นเพื่อพัฒนางานเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อการประกอบอาชีพและลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนด้านมิติทางสิ่งแวดล้อมลดขยะลดมลพิษลดความขัดแย้งของคนในชุมชนการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้มีผลตอบทางทางสังคมเท่ากับ1.20

Abstract

This paper has presented the impact assessment on technology transfer of eDLTV learning with PV System for AthornUthit Border Patrol Police School, Nakhon Thai district, Phitsanulok. Teachers, students, and people who have been using PV system were target group to be interviewed and analyzed of project impact. The results showed that in the social aspect, target group can apply their knowledge about electricity generation from PV system and develop the usage in their community as well as transfer to other communities. The school conducts this system as a learning material which focuses more on practical and participation among school and community. In the economy aspect, not only saving electricity bill and increasing school's electricity quality but also reduce community expenses if apply this system. In the cultural aspect, the target group is still living the same culture but more sharing and learning to develop appropriate technology for their community in order to increase their career capacity and household expenses. In an environmental aspect, reduce waste, reduce pollution and reduce conflicts of the community. This technology transfer has a social return on investment about 1.20.

คำหลัก: ผลกระทบ การถ่ายทอดเทคโนโลยี ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

Keywords: Impact Technology Transfer and PV system

1. บทนำ

การบริการวิชาการสู่สังคมถือเป็นพันธกิจสถาบันอุดมศึกษาเพื่อพัฒนาประเทศซึ่งมุ่งเน้นความเข้มแข็งของฐานรากนั่นคือความเข้มแข็งของชุมชนซึ่งนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในด้านการเป็นกลไกขับเคลื่อนเพื่อการแก้ไขปัญหาความยากจนการพัฒนาคุณภาพชีวิตการลดผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคมในชุมชนอันเนื่องมาจากการเกิดวิกฤติทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศตลอดจนการเป็นรากฐานที่สำคัญของการพัฒนาในทุกด้านๆ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเศรษฐกิจสังคมวัฒนธรรมการเมืองทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อเสริมสร้างชีวิตความเป็นอยู่ของคนในชุมชนให้ดีขึ้นมีความสุขและมั่นคงรวมทั้งการเสริมสร้างฐานรากของสังคมให้โครงสร้างสังคมโดยรวมแข็งแรงมั่นคงและรองรับการพัฒนาประเทศให้มีความมั่นคงและยั่งยืนได้ต่อไป [1]

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTVถือเป็นพันธกิจหนึ่งที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามได้ดำเนินกิจกรรมดังกล่าวโดย e-LearningDistance Learning TV (eDLTV)คือ"โครงการจัดทำเนื้อหาระบบe-Learning ของการศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียมเฉลิมพระเกียรติเนื่องในโอกาสมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา80พรรษา5ธันวาคม2550" เป็นโครงการความร่วมมือของมูลนิธิการศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียมร่วมกับโครงการเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี โดยการนำเนื้อหาของการศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียม (DLTV) ที่ออกอากาศทางสถานีวิทยุและโทรทัศน์การศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียมจากโรงเรียนวังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์มาลงบนระบบe-Learning เพื่อใช้เผยแพร่แก่โรงเรียนในโครงการเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการศึกษาของโรงเรียนในชนบท (ทสรช.) ที่ส่วนใหญ่อยู่ในชนบทห่างไกลขาดแคลนครูได้ใช้ประโยชน์ในการสอนสอนเสริมหรือให้นักเรียนได้ใช้ทบทวนบทเรียนภายในโรงเรียนแบบOff-line และเผยแพร่แบบ On-line ผ่านทางอินเทอร์เน็ตให้แก่ครูนักเรียนและผู้สนใจทั่วไปได้ใช้ประโยชน์ในการเรียนการสอนหรือศึกษาเพิ่มเติม [2] แต่ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTV ในบางโรงเรียนประสบปัญหาเรื่องไม่มีไฟฟ้าใช้ เนื่องจากอยู่ในพื้นที่ห่างไกล หรือบางโรงเรียนประสบปัญหาเรื่องคุณภาพไฟฟ้า ซึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาเรื่องไม่มีไฟฟ้าใช้ และคุณภาพไฟฟ้า คือการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งระบบนี้เป็นเทคโนโลยีที่สามารถใช้ได้ติดตั้งได้ทุกแห่ง และดูแลรักษาง่าย แต่ข้อจำกัดของระบบนี้ คือราคาสูงค่อนข้างสูง ดังนั้นหากเราต้องการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTV ร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง คือ การสะท้อนถึงผลการดำเนินงานทั้งในแง่ผลผลิตผลลัพธ์และผลกระทบเพื่อเป็นผลงานเชิงประจักษ์ทางกายภาพซึ่งโครงการส่วนใหญ่มักจะเกิดภายหลังจากสิ้นสุดโครงการไปแล้วจึงมักปรากฏว่าไม่มีการดำเนินงานในส่วนของการค้นหาและพิสูจน์ผลลัพธ์เพราะใช้เวลานานกว่าจะเห็นผลส่วนราชการและรัฐวิสาหกิจจึงเน้นการจัดทำโครงการไปข้างหน้ามากกว่าจะมองย้อนหลังไปดูว่าผลงานที่ดำเนินงานไปแล้วเกิดผลลัพธ์ตามเป้าหมายและความคาดหวังหรือไม่ [3] การติดตามและประเมินผลกระทบในการบริการวิชาการสู่สังคมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของประโยชน์จึงเป็นเรื่องสำคัญที่สะท้อนผลที่เกิดต่อเนื่องจากผลผลิตและยังตอบสนองต่อตัวบ่งชี้การประกันคุณภาพการศึกษาในองค์ประกอบที่ 5 การบริการทางวิชาการสู่สังคมซึ่งมีหลักการสำคัญคือการบริการทางวิชาการแก่สังคมเป็นหนึ่งในภารกิจหลักของสถาบันอุดมศึกษาสถาบันพึงให้บริการทางวิชาการแก่ชุมชนสังคมและประเทศชาติในรูปแบบต่างๆตามความถนัดและในด้านที่สถาบันมีความเชี่ยวชาญการให้บริการทางวิชาการอาจให้เปล่าโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายหรืออาจคิดค่าใช้จ่ายตามความเหมาะสมโดยให้บริการทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชนหน่วยงานอิสระหน่วยงานสาธารณะชุมชนและสังคมโดยกว้างรูปแบบการให้บริการทางวิชาการมีความหลากหลายเช่นการอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ทรัพยากรของสถาบันเป็นแหล่งอ้างอิงทางวิชาการให้คำปรึกษาให้การอบรมจัดประชุมหรือสัมมนาวิชาการทำงานวิจัยเพื่อตอบคำถามต่างๆหรือเพื่อชี้แนะสังคมการให้บริการทางวิชาการนอกจากเป็นการทำประโยชน์ให้สังคมแล้ว

สถาบันยังได้รับประโยชน์ในด้านต่างๆคือเพิ่มพูนความรู้และประสบการณ์ของอาจารย์อันจะนำมาสู่การพัฒนาหลักสูตรมีการบูรณาการเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านการจัดการเรียนการสอนและการวิจัยพัฒนาตำแหน่งทางวิชาการของอาจารย์สร้างเครือข่ายกับหน่วยงานต่างๆซึ่งเป็นแหล่งงานของนักศึกษาและเป็นการสร้างรายได้ของสถาบันจากการให้บริการทางวิชาการด้วย [3] เพื่อให้ทราบถึงผลลัพธ์และผลกระทบจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จึงจำเป็นในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นเพื่อเสริมสร้างชีวิตความเป็นอยู่ของคนในชุมชนให้ดีขึ้นมีความสุขและมั่นคงรวมทั้งการเสริมสร้างฐานรากของสังคมให้โครงสร้างสังคมโดยรวมแข็งแรงมั่นคงและรองรับการพัฒนาประเทศให้มีความมั่นคงและยั่งยืนได้ต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

3.วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การประเมินคุณค่าของโครงการภาครัฐไม่ว่าจะเป็นส่วนราชการหรือรัฐวิสาหกิจไม่ใช่อยู่ที่ผลผลิตที่เกิดจากการดำเนินโครงการซึ่งเป็นผลงานเชิงประจักษ์ทางกายภาพเพราะสิ่งนี้ยังไม่ใช่ผลสัมฤทธิ์ของโครงการหากแต่ต้องประเมินผลลัพธ์และผลกระทบที่เกิดจากผลงานของโครงการซึ่งมักจะเกิดภายหลังจากสิ้นสุดโครงการไปแล้วจึงมักปรากฏว่าไม่มีการดำเนินงานในส่วนของการค้นหาและพิสูจน์ผลลัพธ์เพราะใช้เวลานานกว่าจะเห็นผลส่วนราชการและรัฐวิสาหกิจจึงเน้นการลุยจัดทำโครงการไปข้างหน้ามากกว่าจะมองย้อนหลังไปดูว่าผลงานที่ดำเนินงานไปแล้วเกิดผลลัพธ์ตามเป้าหมายและความคาดหวังหรือไม่ [3]

ผลลัพธ์และผลกระทบในเบื้องต้นก็คือการที่พิจารณาว่าสถานการณ์จะเป็นอย่างไรหากไม่มีการดำเนินโครงการนั้นๆ หรืออาจจะมองว่าโครงการ/กิจกรรมได้สร้างความเปลี่ยนแปลงใดเกิดขึ้นแต่การพิจารณาผลลัพธ์และผลกระทบในเบื้องต้นอย่างเดียวคงไม่เพียงพอเพราะยังมีประเด็นอีกหลายประเด็นที่ควรพิจารณาและคำนึงถึงเพราะผลลัพธ์และผลกระทบทั้งทางบวกและทางลบและทั้งที่อยู่ในแผนและอยู่นอกแผน(ความคาดหมาย) นอกจากนั้นผลลัพธ์และผลกระทบอาจจะเป็นผลที่มาจากการดำเนินงานหลายปีหรือเป็นส่วนหนึ่งของสถานการณ์ซึ่งอาจจะยากที่จะพิสูจน์ว่าเป็นผลลัพธ์ที่มาจากการดำเนินโครงการโดยปกติผลกระทบมักจะเชื่อมโยงกับผลลัพธ์เนื่องจากจะมีกระบวนการที่กิจการใช้ทรัพยากรได้แก่บุคลากรเวลาเงินสินทรัพย์ชื่อเสียงเพื่อให้เกิดอย่างใดอย่างหนึ่งที่เรียกว่าผลผลิตซึ่งจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงเชิงประจักษ์ในพฤติกรรมเกิดการใช้ประโยชน์ที่เรียกว่าผลลัพธ์ผลลัพธ์อาจจะอธิบายได้ว่าเป็นสิ่งที่วัดได้ง่าย(ซอฟท์) หรือเป็นสิ่งที่วัดได้ยาก(ฮาร์ด) เป็นผลต่อขยายจากการเกิดผลผลิตของโครงการซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์และผลกระทบแล้วคนส่วนใหญ่มักสนใจผลลัพธ์มากกว่าผลกระทบ [4]

นิคมนาคอ้าย [5] ได้ติดตามประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์จากโครงการบริการวิชาการสู่สังคมที่ได้รับการสนับสนุนทุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามประจำปีงบประมาณ2555 – 2556ได้ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบตัวบ่งชี้ผลกระทบและตัวบ่งชี้การประกันคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบเมื่อนำมาเชื่อมโยงกับผลการวิเคราะห์สารสนเทศจากการบริการวิชาการสู่สังคมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบที่คาดหวังและเป็นประโยชน์จากการบริการวิชาการสู่สังคมจะสามารถกำหนดมิติของผลกระทบได้5มิติ11ตัวบ่งชี้สำคัญ (key performance Indicators) ได้แก่มิติผลกระทบทางสังคมมี6ตัวบ่งชี้มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจมี2ตัวบ่งชี้มิติผลกระทบทางวัฒนธรรมมี1ตัวบ่งชี้มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมี1ตัวบ่งชี้และมิติผลกระทบทางสุขภาพมี1ตัวบ่งชี้

การถ่ายทอดเทคโนโลยีทางด้านพลังงานทดแทนถือเป็นภารกิจหนึ่งของสถานศึกษาที่ต้องทำและเป็นที่พึ่งให้กับชุมชนการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ก็เช่นเดียวกัน [6]

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTV ร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลลแสงอาทิตย์ จากการลงพื้นที่สำรวจโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนอาทรอุทิศ อ.นครไทย จ.พิษณุโลกซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลักการประเมินผลกระทบในครั้งนี้ไม่ได้มุ่งเพียงกลุ่มเป้าหมายหลักเพียงอย่างเดียวถือว่าผู้เข้าร่วมโครงการทั้งหมดมีผลต่อผลลัพธ์และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเข้าร่วมอบรมในการประเมินผลกระทบในครั้งนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1คณะวิจัยดำเนินการติดตั้งระบบและจัดฝึกอบรมตามโครงการฝึกอบรมการจัดการใช้พลังงานและประยุกต์ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้โครงการฝึกอบรมการจัดการใช้พลังงานและประยุกต์ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แก่โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนระยะที่1 ซึ่งการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นส่วนหนึ่งที่อยู่ในการอบรม โดยมีผู้เข้าร่วมรับการอบรมทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ผู้บริหารผู้โรงเรียนจำนวน 1 คน

กลุ่มที่ 2 ครูโรงเรียน ตชด. จำนวน 6 คน

กลุ่มที่ 3 นักเรียนโรงเรียน ตชด. จำนวน 36 คน

กลุ่มที่ 4 ประชาชนทั่วไปผู้ใช้ระบบและผู้ปกครองนักเรียน จำนวน80 คน

กลุ่มที่ 5 ผู้ให้การอบรม จำนวน 5 คน

รวมจำนวนผู้เข้าร่วมอบรมทั้งสิ้น 128 คน ซึ่งแต่ละกลุ่มสัมภาษณ์โดยใช้แบบประเมินผลกระทบซึ่งการเลือกกลุ่มเป้าหมายเป็นการเลือกแบบเฉพาะเจาะจงโดยพิจารณาจากความตั้งใจในการอบรมและได้ทำกิจกรรมที่เห็นถึงผลลัพธ์และผลกระทบได้อย่างชัดเจนจากการดำเนินโครงการรวมไปถึงการสัมภาษณ์ของผู้ให้การอบรม

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นแบบประเมินผลกระทบโครงการบริการวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (การถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์)ซึ่งได้พัฒนาปรับปรุงมาจากประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์จากโครงการบริการวิชาการสู่สังคมของนิคม นาคอ้าย[4]ประกอบด้วย2ส่วนดังนี้

ส่วนที่1สัมภาษณ์ผู้เข้ารับการอบรมประกอบด้วย 5 มิติ ได้แก่ มิติผลกระทบทางสังคมมี 3 ตัวบ่งชี้ ประกอบด้วย 1) ความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้ของผู้รับบริการในการพัฒนา 2) เครือข่ายความร่วมมือ / เครือข่ายขยายผล 3) แหล่งเรียนรู้/ฐานข้อมูลความรู้ที่เป็นประโยชน์ มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจมี2ตัวบ่งชี้ ประกอบด้วย 1) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ หรือผลงานของผู้รับบริการวิชาการ และ 2) มูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกิดกับบุคคล กลุ่มคน และชุมชน มิติผลกระทบทางวัฒนธรรมมี1ตัวบ่งชี้ คือ การพัฒนาบนพื้นฐานอัตลักษณ์ของกลุ่มผู้รับบริการมิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมี 1 ตัวบ่งชี้ คือสภาพแวดล้อมที่ดีของชุมชน / หน่วยงาน /พื้นที่ที่ได้รับการบริการวิชาการและมิติผลกระทบทางสุขภาพมี1ตัวบ่งชี้ คือ สุขภาพของผู้รับบริการ

ส่วนที่ 2 สัมภาษณ์ผู้ให้การอบรม มี 1 มิติ คือ มิติผลกระทบทางสังคม มี3ตัวบ่งชี้ ประกอบด้วย4) ประโยชน์และคุณค่าต่อคนในสถาบัน หรือต่อผู้ให้บริการวิชาการ 5) การนำผลการบริการวิชาการมาปรับปรุงกระบวนการบริการวิชาการ และ 6) การได้รับรางวัล / ได้รับการยกย่องของผู้ให้บริการวิชาการ

ขั้นตอนที่ 3ทำการสำรวจและสัมภาษณ์ผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมซึ่งในการสำรวจและสัมภาษณ์ ได้กำหนดห่วงโซ่ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ในส่วนของ ปัจจัยนำเข้า (Input) กิจกรรม (Activities) ผลผลิต (Output) ผลลัพธ์ (Outcome หรือ Impact) เพื่อประเมินผลตอบแทนทางสังคม (Social Return on Investment: SROI)โดยวิเคราะห์รายรับและรายจ่ายที่สัมพันธ์กับกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเฉพาะมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจและใช้ค่าแทนทางการเงินของผลลัพธ์ทางสังคมที่ไม่มีราคาตลาดด้วยการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis)

ขั้นตอนที่ 4นำแบบประเมินการประเมินผลกระทบมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ เพื่อสรุปผลการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5. ผลการดำเนินการวิจัย

จากการสัมภาษณ์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTV ร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 5 มิติ ได้แก่ มิติผลกระทบทางสังคมมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจมิติผลกระทบทางวัฒนธรรมมิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และมิติผลกระทบทางสุขภาพ ดังตารางที่ 1-5 แสดงผลการสัมภาษณ์ในแต่ละกลุ่ม ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการสัมภาษณ์ผู้อำนวยการโรงเรียน ตชด. อาทรอุทิศ

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- ได้นำระบบมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน เป็นสื่อการสอนที่สามารถใช้งานได้จริง และเป็นแหล่งฝึกอบรมประชาชนทั่วไป - นักเรียนที่ผลการเรียนดีขึ้น เนื่องจากศึกษาวิธีการจัดสวนจาก eDLTV มีผลการประกวดการแข่งขัน ศิลปะหัตกรรม ด้านการจัดสวน ได้เหรียญเงิน - โรงเรียนสามารถจัดการเรียนการสอนได้อย่างต่อเนื่อง แม้กระทั่งไฟฟ้าดับ ยังสามารถจัดการเรียนการสอนได้ตามปกติ เนื่องจากมีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำรอง
ตัวบ่งชี้ที่ 2	มูลนิธิการศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียม มูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพฯ สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (สำนักงานกปร.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) คณะครุศาสตร์ สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง (โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาลัยการอาชีพนครไทย บริษัท และภาคีเครือข่ายอื่นๆ
ตัวบ่งชี้ที่ 3	วันที่ 7 มิถุนายน 2559 ได้มีการถวายงานสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี กราบทูลเรื่องการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ท่านทรงมีกระแสรับสั่งให้นำใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนด้วยโดยมีเนื้อหาการสอนตั้งแต่ปฐมวัย ประถมศึกษา มัธยมศึกษา และการสอนอาชีพ มากกว่า 70 อาชีพ
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	- ลดปัญหาด้านการแคลนครู - ผลิตไฟฟ้าใช้ภายในโรงเรียนและโรงอาหาร - คุณภาพไฟฟ้าดีขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- นักเรียน ครู และช่างก่อสร้างที่ทำการดำเนินการปรับปรุงโรงอาหาร แต่ไฟฟ้าดับจึงใช้ระบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำรอง เพื่อให้ทำงานต่อจนปรับปรุงโรงอาหารเสร็จ - ลดการจ้างครู อย่างน้อย 2 คน ประมาณค่าใช้จ่ายในการจ้าง เท่ากับ 30,000 บาทต่อเดือน - ค่าไฟฟ้าของโรงเรียนลดลง 1,080 บาทต่อเดือน
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	-วัฒนธรรมการใช้ชีวิตเช่นเดิม ไม่มีกระทบที่จะต้องทำการแปลงวิถีชีวิตแต่อย่างใด
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	- ไม่มีผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เพราะใช้แหล่งพลังงานสะอาดมาผลิตพลังงานไฟฟ้า - ช่วยให้ประชาชนในพื้นที่ได้ศึกษาอาชีพเพิ่มเติมจาก eDLTVทำให้ลดการบุรุกป่าเพิ่มเติมในการทำเกษตรเชิงเดียว
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	- ครู โรงเรียน ตชด. มีความเครียดลดลง เนื่องจากมีระบบ eDLTVช่วยสอนในเรื่อง/วิชาที่ไม่ถนัด และไม่มีความกังวลเรื่องไฟฟ้าดับ/ไฟฟ้าตก ในขณะทำการสอน

ตารางที่ 2ผลการสัมภาษณ์ครูโรงเรียน ตชด. อาทรอุทิศ

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- สามารถนำความรู้ที่ได้ไปเผยแพร่ให้กับชุมชนหรือผู้ที่สนใจได้ - แนะนำให้พลังงานทดแทนเป็นทางเลือกในการประกอบอาชีพ - มีการทำงานดีขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2	หน่วยงานรัฐ และเอกชนร่วมกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	เป็นแหล่งเรียนรู้ที่มีประโยชน์ต่อชุมชนอย่างมาก มีการใช้ฐานข้อมูล เพื่อเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง มีสื่อการสอนครบทุกกลุ่มสาระการเรียนรู้และการศึกษาด้านอาชีพ
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ทำให้มีผู้สนใจเพิ่มขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- สร้างรายได้ให้แก่ชุมชน จากการพัฒนาอาชีพ - นำความรู้ที่จาก eDLTV ไปพัฒนาต่อยอดได้ - ลดงบประมาณในการสร้างสื่อการสอน
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	สามารถนำไปใช้เข้ากับวัฒนธรรมการของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	ลดมลพิษในชุมชนชุมชนสะอาดขึ้น จากการทำเกษตรเชิงเดี่ยว
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	- ทำให้มั่นใจในการจัดการเรียนการสอนเพิ่มขึ้น โดยศึกษาเทคนิคและรายละเอียดของบทเรียนต่างๆจากระบบ eDLTV - สุขภาพจิตดีขึ้น เหลืองบประมาณไปพัฒนาโรงเรียนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3ผลการสัมภาษณ์นักเรียนโรงเรียน ตชด.

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- มีเรียนเพิ่มขึ้น - รู้เรื่องมากขึ้น - สนุกกับการเรียน - นำความรู้ไปแข่งขันทักษะทางวิชาการจนได้รับรางวัลเหรียญเงิน
ตัวบ่งชี้ที่ 2	หน่วยงานรัฐ และเอกชนเข้ามาช่วยกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	สื่อการเรียนรู้จากระบบ eDLTVมีทุกชั้นปี รวมถึงมีการสอนอาชีพ
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	- สร้างอาชีพให้กับชุมชน - คุณภาพผลงานทางวิชาการดีขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2	สร้างรายได้ให้แก่ชุมชน จากการทำอาชีพเสริม
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	ช่วยทำให้มีความตระหนักเรื่องสิ่งแวดล้อมและการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติ

มิติผลกระทบทางสุขภาพ	เรียนจากระบบ eDLTVทำให้เรียนรู้ได้หลากหลายไม่เครียด

ตารางที่ 4ผลการสัมภาษณ์ประชาชนทั่วไปผู้ใช้ระบบและผู้ปกครองนักเรียน

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- ครูจัดการเรียนการสอนได้ต่อเนื่อง - นักเรียนได้โอกาสเรียนรู้เพิ่มขึ้น - ชุมชนมีแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม
ตัวบ่งชี้ที่ 2	หน่วยงานรัฐ เอกชน และคนในชุมชนร่วมกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ชุมชนของตนเอง
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	สร้างอาชีพใหม่ให้กับตนในชุมชน
ตัวบ่งชี้ที่ 2	มีรายได้เพิ่มขึ้น
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	สามารถนำไปใช้เข้ากับวัฒนธรรมการของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	- ลดมลพิษในชุมชนชุมชนสะอาดขึ้น - ลดการบุรุกป่าเพิ่มเติม

มิติผลกระทบทางสุขภาพ	สุขภาพดีขึ้น ไม่มีมลพิษ

ตารางที่ 5 ผลการสัมภาษณ์ผู้ให้การอบรม

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 4	ได้ความรู้ในการพัฒนาและปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนโดยใช้eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสื่อแหล่งเรียนรู้ในกับนิสิต นักศึกษาในมหาวิทยาลัยและบุคคลภายนอก
ตัวบ่งชี้ที่ 5	นำจุดด้อยมาปรับปรุงเรื่องสื่อประกอบการถ่ายทอดมีปรับปรุงให้ดีขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 6	- ได้รับการยอมรับจากคนในชุมชน และภาคีเครือข่ายทั้งภาครัฐและเอกชนที่ทำงานร่วมกัน - ได้รับรางวัลนักวิจัยดีเด่นของคณะ - ได้ถวายงานสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ส่วนปัจจัยนำเข้าเป็นเงินลงทุนระบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และการถ่ายทอดเทคโนโลยี จำนวนเงิน 310,000 บาท ทำให้ผลการประเมินผลตอบแทนทางสังคมจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ พบว่า มีอัตราส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนเท่ากับ 1.20

6. สรุปและอภิปรายผล

การประเมินผลกระทบจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้eDLTVร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สอดคล้องกับ A.K. Akellaและคณะ[7] ที่ได้ทำการศึกษาในผลกระทบ 5 มิติดังนี้

1. ผลกระทบทางสังคมเป็นแหล่งเรียนรู้มีการพัฒนาต่อยอดขยายฐานองค์ความรู้ไปสู่ชุมชนและโรงเรียนอื่นๆ ผลกระทบทางเศรษฐกิจลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

2. ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมไม่มีผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้แหล่งพลังงานสะอาดมาผลิตพลังงานไฟฟ้า ช่วยลดก๊าซเรือนกระจก และสอดคล้องกับ Claudia Cambero and TaranehSowlati [6]

3. ผลกระทบทางสุขภาพครู นักเรียน และประชาชนทั่วไปมีความสุขจากการได้ทำงานในชุมชนสุขภาพดีขึ้นและการใช้พลังงานทดแทนไม่ก่อให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพ

4. ผลกระทบทางวัฒนธรรมไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเทคโนโลยีไม่ได้ปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตโดยตรงของชุมชน

5. ผลกระทบทางสุขภาพสุขภาพจิตดีขึ้นสนใจใฝ่เรียนรู้เพิ่มขึ้นไม่มีมลพิษ

และส่วนการประเมินผลตอบแทนทางสังคมจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้eDLTV ร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจพบว่ามีอัตราส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนเท่ากับ1.20ซึ่งหมายถึงในการดำเนินการติดตั้งระบบ ตลอดจนจัดฝึกอบรมตามโครงการฝึกอบรมการจัดการใช้พลังงานและประยุกต์ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้โครงการฝึกอบรมการจัดการใช้พลังงานและประยุกต์ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แก่โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนระยะที่1 หากมีการลงทุน 1 บาท เมื่อประเมินผลการตอบแทนทางสังคม ได้กลับคืนมา 1.20 บาท

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยโครงการฝึกอบรมการจัดการใช้พลังงานและประยุกต์ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แก่โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนระยะที่1สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ2559คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้อำนวยการ คณะครูและนักเรียนโรงเรียนตชด. อาทรอุทิศ และคณาจารย์วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำและข้อมูลสนับสนุนในการศึกษานี้ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

8.เอกสารอ้างอิง

[1] วรวิทย์อวิรุทธ์วรกุลและธีระพงษ์มาลัยทอง. การพัฒนาดัชนีชี้วัดความเข้มแข็งของชุมชน.กรุงเทพมหานคร:สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ; 2551.

[2] มูลนิธิการศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียมและNECTEC. โครงการจัดทำเนื้อหาระบบ e-Learning ของการศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียมเฉลิมพระเกียรติเนื่องในโอกาสมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา 80 พรรษา5ธันวาคม2550 (โครงการ eDLTV). เว๊ปไซต์http://edltv.thai.net/index.php

[3] จิรพรสุเมธีประสิทธิ์. ผลลัพธ์และผลกระทบของโครงการตัวชี้วัดความคุ้มค่าในระยะยาว. กรุงเทพมหานคร : คณะพัฒนาการเศรษฐกิจสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์; 2556.

[4]สำนักมาตรฐานและการประกันคุณภาพการศึกษา.คู่มือการประกันคุณภาพระดับคณะปีการศึกษา2555. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม : สำนักมาตรฐานและการประกันคุณภาพการศึกษา; 2555.

[5]นิคมนาคอ้าย. การประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์จากโครงการบริการวิชาการสู่สังคมประจำปีงบประมาณ 2555-2556. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม : สถาบันวิจัยและพัฒนา; 2557.

[6] Claudia Cambero and TaranehSowlati. “Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives – a review of literature,” Renewable and Sustainable Energy Reviews. 36, 62-73. ; 2014.

[7] A.K. Akella, R.P. Sainiและ M.P. Sharma.Social, economical and environmental impacts of renewable energy system.Renewable Energy.34, 390–396.; 2009.

การศึกษาผลกระทบของการกีดขวางการไหลของลมเนื่องจากอาคารที่มีต่อประสิทธิภาพกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์โดยใช้วิธีแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล

The study of airflow obstruction effect from building on 5 kW wind turbine performance by using CFD Technique

กฤตภาส คงคาพิสุทธ[1], วิชัย โรยนรินทร์[2], และเดชา อินทร์โท่โล่[3]

[1]ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Email:[1]krittapat_k@rmutt.ac.th,[2]wirachairoynarin@yahoo.com,[3]decha_i@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์แสดงผลการศึกษาผลกระทบของอาคารที่เป็นสิ่งกีดขวาง ซึ่งมีผลต่อการไหลของอากาศ ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 5 kW ชนิดแนวนอน(HAWTs)ที่มีการติดตั้งที่กรมพลังงานทหาร(DECTC) จังหวัดระยอง โดยใช้แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล(CFD) โดยผลลัพท์ที่ได้จากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล(CFD)จะมีการเปรียบเทียบกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ งานวิจัยนี้จะแสดงถึงพลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลม ซึ่งจะสามารถใช้เป็นรูปแบบแนวทางในการติดตั้งกังหันลมขนาดเล็กในพื้นที่ต่างๆที่มีสิ่งกีดขวางได้ในอนาคต ซึ่งลมที่ไหลผ่านสิ่งกีดขวางจะเกิดการไหลแบบปั่นป่วน ไม่เสถียรและอาจนำมาซึ่งเกิดการไหลแบบหมุน(Vortex) ทำให้ความเร็วลมช้าลง โมเมนตัมของลมลดลง ดังนั้นการติดตั้งกังหันลมขนาดเล็กควรที่จะมีการประเมินและคำนึงถึงสิ่งกีดขวางในบริเวณนั้นก่อนที่จะมีการทำการติดตั้ง

ในการศึกษาครั้งนี้ ประสิทธิภาพของกังหันลมจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล(CFD)จะทำการจำลองสองทิศทางคือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งลมดังกล่าวเป็นลมประจำถิ่นที่เกิดขึ้นในประเทศไทยจากผลของการจำลองทางพลศาสตร์ของไหล(CFD) เมื่อความเร็วลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือผ่านสิ่งกีดขวางจะลดลงจาก 4.5 เมตรต่อวินาที เป็น 3.31 เมตรต่อวินาที และเมื่อความเร็วลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ผ่านสิ่งกีดขวางจะลดลงจาก 4.5 เมตรต่อวินาที เป็น 1.53 เมตรต่อวินาที ดังนั้นทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์ ที่ผลิตได้ 7,463.52 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ลดลงเหลือ 1,455.47 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ประสิทธิภาพลดลง 80.63% เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง

จากผลการศึกษานี้ ระเบียบวิธีการวิจัยข้างต้นจะใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้ ที่ความเร็วลม 0-10 เมตรต่อวินาทีในทั้งสองทิศทางต่อไป

Abstract

The objective of this paper is to present the results of the studied from the buildings obstruction airflows effected to the performance of the 5 kW Horizontal Axis Wind Turbines (HAWTs) at the Defence Energy Department Training Center (DETC) which located at Rayong Province by using Computation Fluid Dynamics (CFD) technique. The CFD results were comparing with the simple analytical mathematics model for further study. This study showed the modeling of power output for the next study to make the appropriate application tool for small wind turbines site and installation process which is in the building obstruction airflow areas. In such locations, however, because of the presence of buildings and other adjacent obstructions, wind is normally turbulent, unstable and low speed. The use of small wind machine in the building obstruction airflow is needed to validate and to predict before installed the wind machine, including energy yield. In this study, the performance of CFD simulation focused into two main directions, North-East (NE) and South-West (SW) which is normally the main wind direction and wind flows in Thailand. The comparison results showed from CFD that the incoming wind speed was decreased from 4.5 m/s to 3.31 m/s and 1.53 m/s from NE and SW respectively. Therefore, the annually performance of the 5 kW wind machine was decreased approximately from 7,463.52 kWh/year to 1,455.47 kWh/year. Hence, at this stage of study showed that the CFD technique provide the results from the building obstruction performed lower performance up to 80.63% in both directions compared to the ideal site to install the

wind machine. From this result, the method will be used to process with the next study by comparing the power performance between site measurement, CFD simulation, and system design to calculate at wind speed from 0 – 10 m/s in two main directions.

คำสำคัญ : กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล(CFD)ประสิทธิภาพของกังหันลม

Keywords : Wind turbine, Computation Fluid Dynamics (CFD), Wind turbine Performance

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณการใช้พลังงานในโลกมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากลมเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดชนิดหนึ่ง[1]กังหันลมที่ติดตั้งส่วนมากจะเป็นกังหันลมชนิดแนวนอน(HAWTs) และระบบพลังงานทางเลือกอื่นๆก็กำลังเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสภาพปัจจุบันของสังคมเมือง พลังงานจากกังหันลมที่มีขนาดเล็กสามารถที่จะตอบโจทย์และมีความใกล้ชิดกับสภาพพื้นที่ในเมืองได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถติดตั้งแบบเชื่อมต่อสายส่ง(On-Grid)และแบบไม่เชื่อมต่อกับสายส่ง(Off-Grid)ของการไฟฟ้า[3]

การไหลแบบปั่นป่วน(Turbulence)เป็นผลกระทบที่สำคัญต่อการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมที่ติดตั้งใกล้สิ่งกีดขวางไม่ว่าจะเป็นกับอาคารต้นไม้ หรือสิ่งกีดขวางอื่นๆ[4]การติดตั้งกังหันลมบริเวณในเมืองที่ใกล้กับอาคาร จะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมลดลง เพราะจากความเร็วลมเฉลี่ยที่ผ่านอาคารซึ่งเป็นสิ่งกีดขวางมีความเร็วลดลง[5]เนื่องจากรูปร่างของอาคารในชุมชนเมืองซึ่งเป็นสิ่งกีดขวางมีรูปร่างที่แตกต่างกัน ทำให้การไหลของอากาศที่ผ่านสิ่งกีดขวางนั้นมีการไหลที่ซับซ้อน ซึ่งการจะติดตั้งกังหันลมในพื้นที่ดังกล่าวต้องมีการคำนึงถึงความเหมาะสมเนื่องจากอาคารที่กีดขวางการไหลของลม ด้วยเหตุนี้ ลักษณะการไหลของลมในพื้นที่ชุมชนเมืองค่อนข้างที่จะแตกต่างจากลมที่ไหลในพื้นที่เปิดโล่ง[6]

แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล(CFD)สามารถที่จะลดค่าใช้จ่าย ระยะเวลาในการวิจัยและสามารถเปรียบเทียบกับผลการทดลองได้เป็นอย่างดี[7]สิ่งที่สำคัญที่สุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือประสิทธิภาพ ซึ่งผลของอาคารที่เป็นสิ่งกีดขวางย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพของกังหันลม

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายในการหาผลลัพท์ประสิทธิภาพระหว่างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล(CFD)กับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของระบบหรือผลการทดสอบจากงานวิจัยอื่นๆเพื่อเปรียบเทียบกับการวัดพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากกังหันลม ดังนั้นถ้าผลการวิจัยสามารถเป็นที่ยอมรับได้ งานวิจัยนี้จะสามารถใช้เป็นรูปแบบประมาณการติดตั้งกังหันลมที่ติดตั้งในชุมชนเมืองที่มีอาคารกีดขวาง

2. ขั้นตอนวิจัย

(1) หาประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ ที่ทำการติดตั้งที่ กรมพลังงานทหาร (DETC) ที่ลมเฉลี่ย 4.5 เมตร/วินาที

(2) ใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหล(CFD) เพื่อหาความเร็วลมที่ปะทะใบกังหันลมหลังจากที่ผ่านอาคารที่เป็นสิ่งกีดขวาง ที่ความเร็วลม 4.5 เมตรต่อวินาที

(3) หาประสิทธิภาพของของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ โดยใช้ความเร็วลมหลังจากที่ผ่านอาคารที่เป็นสิ่งกีดขวาง

(4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง(1)กับ(3) อธิบายผลกระทบของอาคารสิ่งกีดขวางการกับการไหลของลม

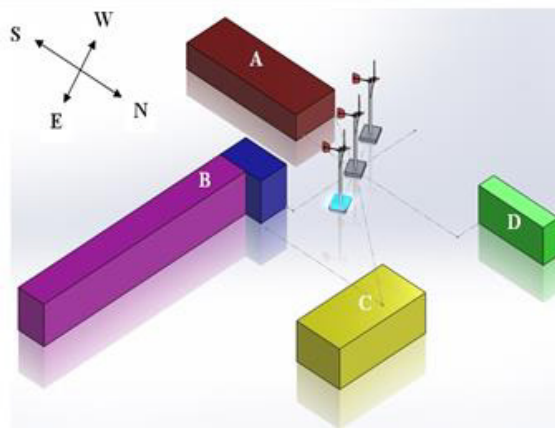
(5) ผลการศึกษานี้จะใช้ในเปรียบเทียบการศึกษาวิจัยต่อไป โดยเปรียบเทียบกับการวัดพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง เพื่อใช้เป็นรูปแบบประมาณการติดตั้งกังหันลมขนาดเล็กที่มีสิ่งกีดขวาง

3. สถานที่ตั้ง และ ลักษณะอาคาร ที่กรมพลังงานทหาร(DETC

สถานที่ตั้ง

กังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ตั้งอยู่ที่กรมพลังงานทหาร(DETC) อ. บ้านฉาง จ. ระยอง ซึ่งเป็นศูนย์วิจัยปิโตเลียมและพลังงานทดแทน ตั้งที่ละติจูด 12 องศา 40 ลิปดาเหนือ ลองติจูด 101 องศา 2 ลิปดาตะวันออก สูกว่าระดับน้ำทะเล 3 เมตร ซึ่งในพื้นที่นี้จะมีลมประจำฤดูพัดผ่านตลอดปี ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดตั้งแต่เดือน พฤษภาคม-ตุลาคม ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดตั้งแต่เดือน พฤษจิกายน-มกราคม ข้อมูลลมที่เก็บรวบรวมเป็นเวลา 30 ปี (2511-2540) จากกรมอุตุนิยมวิทยา จะมีความเร็วลมเฉลี่ย 2.6-7.7 เมตรต่อวินาที โดยลมที่สูงสุดจะพัดในช่วงเดือนมิถุนายน-สิงหาคม

ลักษณะอาคาร



รูปที่ 1ลักษณะรูปจำลองอาคารที่ตั้ง และทิศทางลม ที่กรมพลังงานทหาร(DETC)

ลักษณะรูปจำลองอาคารที่ตั้งและทิศทางลมที่กรมพลังงานทหาร(DETC) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีกังหันขนาด 5 กิโลวัตต์ทั้งหมด 3 ตัว และระยะห่างระหว่างต้นกังหันลมคือ 18 เมตร ระยะต่างๆ และความสูงของอาคารต่างๆ สามารถอธิบายดังนี้

1. อาคาร A มีความสูง 9.25 เมตร กว้าง 18 เมตร ยาว 51 เมตร โดยอาคาร A ห่างจากกังหันลม WT2 35 เมตร
2. อาคาร B มีความสูง 15 เมตร กว้าง 12 เมตร ยาว 113 เมตร โดยอาคาร A ห่างจากกังหันลม WT2 25 เมตร
3. อาคาร C มีความสูง 9.25 เมตร กว้าง 18 เมตร ยาว 51 เมตร โดยอาคาร A ห่างจากกังหันลม WT2 60เมตร
4. อาคาร Dมีความสูง 13.30 เมตร กว้าง 7 เมตร ยาว 30 เมตร โดยอาคาร A ห่างจากกังหันลม WT2 47.50เมตร

4. รายละเอียดกังหันลม

ข้อมูลทางเทคนิคของกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์

Main data

- Hub height 18 m
- Rotor diameter 6.5 m
- Rated power 5000 W @ 9.5 m/s
- Cut-in 2.5 m/s

Rotor

- Blade Length 3.20 m
- Arrangement Upwind machine
- Rotor speed 200 rpm

Tower

- Hub height(Monopole) 18m

Generator Design

- Permanent Magnet Generator
- Generator Speed 200 rpm
- Grid Connected 220 Volt 50 Hz.

Survival Wind Speed

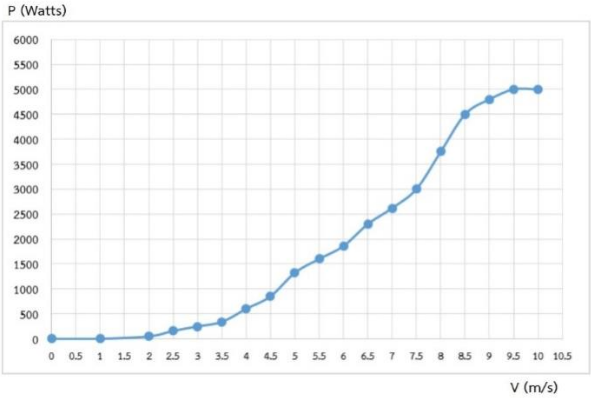
- 40 m/s

รูปที่ 2กังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์ ที่กรมพลังงานทหาร (DETC)

5. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1แสดง พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกังลมขนาด 5 กิโลวัตต์

Wind speed (m/s)	Power output (watt)	Energy output (kWh/day)	Energy output (kWh/year)
0	0	0	0
1.0	0	0	0
2.0	50	1.2	438.0
2.5	160	3.8	1,401.6
3.0	250	6.0	2,190.0
3.5	340	8.2	2,978.4
4.0	602	14.5	5,273.5
4.5	**852**	**20.4**	**7,463.5**
5.0	1,325	31.8	11,607.0
5.5	1,602	38.4	14,033.5
6.0	1,860	44.6	16,293.6
6.5	2,300	55.2	20,148.0
7.0	2,620	62.9	22,951.2
7.5	3,003	72.1	26,306.3
8.0	3,752	90.0	32,867.5
8.5	4,500	108.0	39,420.0
9.0	4,800	115.2	42,048.0
9.5	5,000	120.0	43,800.0
10.0	5,000	120.0	43,800.0



รูปที่ 3 แสดงกราฟพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกังลมขนาด 5 กิโลวัตต์

ตัวอย่างการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วลม 4.5 เมตรต่อวินาที

P=852 watts=0.852 kW

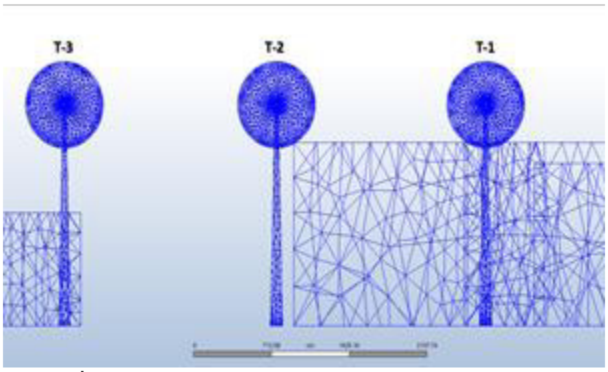
E=0.852kW x 24 hrs=20.4 kWh/day

E = 20.448 kWh/day × 365 days = 7,463.52 kWh/year

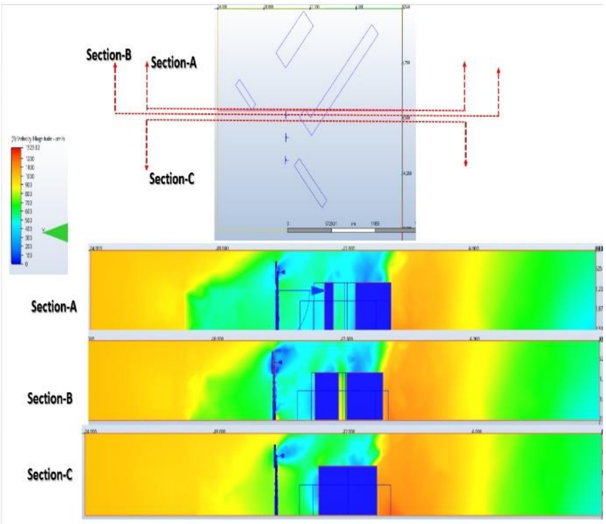
แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล(CFD)ประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ โดยใช้สมการหลัก 3 สมการในการคำนวณ คือ

1. สมการอนุรักษ์มวล
2. สมการอนุรักษ์โมเมนตัม
3. สมการอนุรักษ์พลังงาน

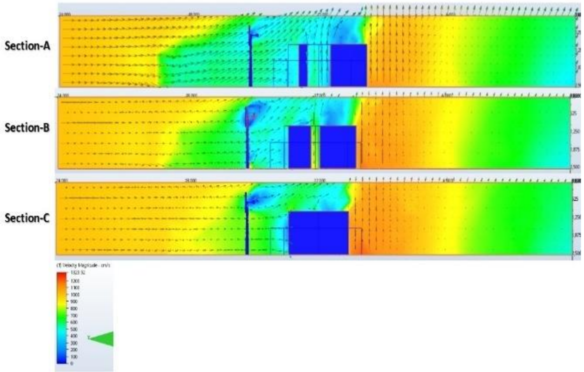
แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล(CFD) สามารถที่จะจำลองการไหลที่ซับซ้อนได้ มีความน่าเชื่อถือทางการจำลอง ประหยัดเวลาและงบประมาณในการวิจัย ซึ่งสอดคล้องกับการไหลของอากาศในชุมชนเมืองที่มีลักษณะอาคารที่หลากหลาย



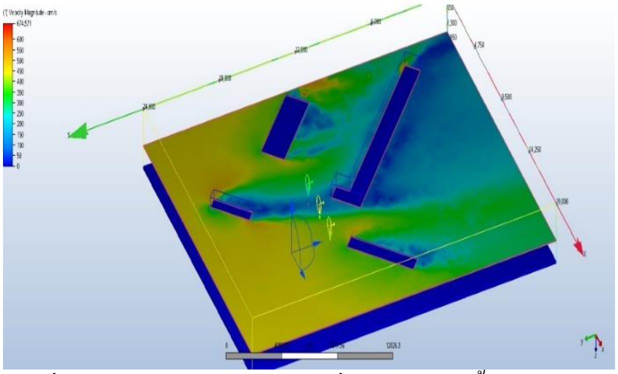
รูปที่ 4แสดงการสร้างโครงตาข่ายของแบบจำลอง



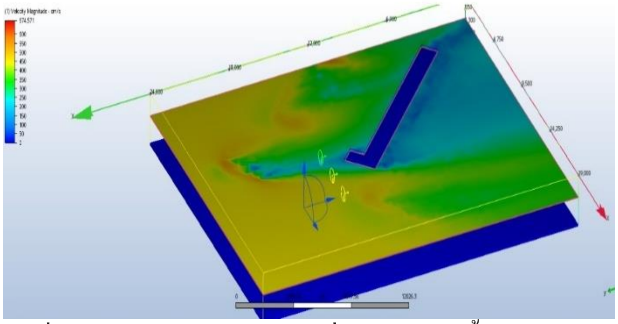
รูปที่ 5แสดงภาพตัดที่หน้าตัดต่างๆเพื่อแสดงรูปแบบความเร็วลม



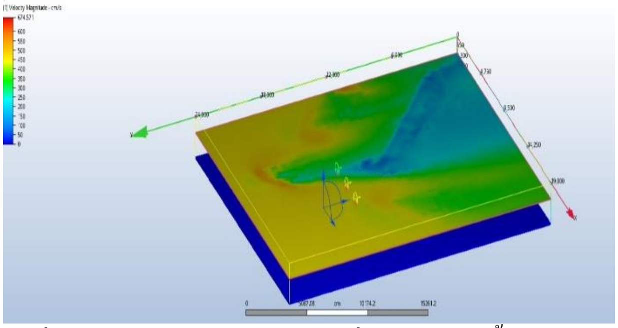
รูปที่ 6แสดงเวคเตอร์ความเร็วที่ที่หน้าตัดต่างๆ



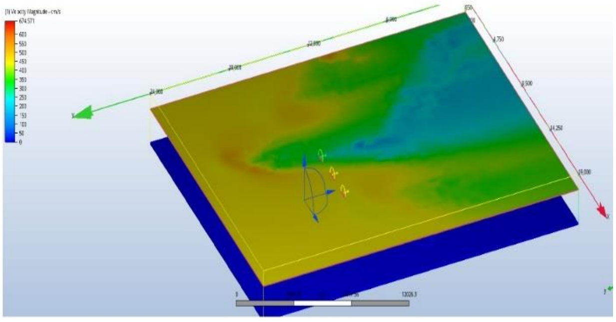
รูปที่ 7แสดงรูปแบบความเร็วลมที่ความสูงจากพื้น 9.25 เมตร(เท่ากับความสูงอาคาร A,C)



รูปที่ 8แสดงรูปแบบความเร็วลมที่ความสูงจากพื้น 13.30 เมตร(เท่ากับความสูงอาคาร D)

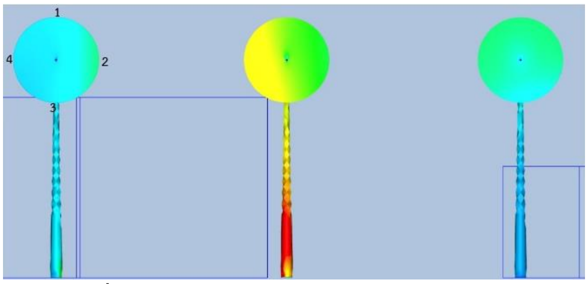


รูปที่ 9 แสดงรูปแบบความเร็วลมที่ความสูงจากพื้น 15 เมตร(เท่ากับความสูงอาคาร B)



รูปที่ 10แสดงรูปแบบความเร็วลมที่ความสูงจากพื้น 18 เมตร(เท่ากับความสูงกังหันลม)

ในการวัดความเร็วลมที่ใบกังหัน T1 จำนวน 4 จุด ทั้งจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ ดังรูปที่ 11 โดยให้ความเร็วลมทางเข้าเท่ากับ 4.5 เมตรต่อวินาที จะได้ค่าต่างๆดัง ตารางที่ 2



รูปที่ 11แสดงตำแหน่งจุดการวัดความเร็วลม

ตารางที่ 2 แสดงความเร็วลมที่วัดได้จาก 4 จุดบนกังหันลม

	Incoming wind speed @ 4.5 m/s	
	NE	**SW**
Point	**Magnitude (m/s)**	**Magnitude(m/s)**
1	3.87932	1.5671
2	3.6702	1.76758
3	2.48174	1.48265
4	3.22281	1.30009
Sum	13.25407	6.11742
Average	**3.313518**	**1.529355**
Decrease (%)	26.36628	66.01433

6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการจำลองทางพลศาสตร์ของไหล(CFD) พบว่าลมที่พัดเข้าสู่กังหันลมในทิศตะวันออกเฉียงเหนือจาก 4.5 เมตรต่อวินาที ลดลงเป็น 3.31 เมตรต่อวินาที และลมที่พัดเข้าสู่กังหันลมในทิศตะวันตกเฉียงใต้จาก 4.5 เมตรต่อวินาที ลดลงเป็น 1.53 เมตรต่อวินาที และสามารถที่จะคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่กังหัมผลิตได้ต่อวันและต่อปีดังนี้

<u>ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ(3.31 เมตรต่อวินาที)</u>

P = 305.8 watt = 0.31 kW

E = 0.31 kW × 24 hrs = 7.34 kWh/day

E = 7.34 kWh/day × 0.5 × 365 days = 1,339.40 kWh/year

<u>ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้(1.53 เมตรต่อวินาที)</u>

P = 26.5 watt = 0.03 kW

E = 0.03 kW × 24 hrs = 0.64 kWh/day

E = 0.64 kWh/day × 0.5 × 365 days = 116.07 kWh/year

ดังนั้นจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้ทั้งหมดคือ

E = 1,339.40 kWh/year + 116.07 kWh/year

= 1,455.47 kWh/year

ตารางที่ 3 แสดงการผลคำนวนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

Wind speed (m/s)	Power output (watt)	Energy output (kWh/day)	Energy output (kWh/year)
0	0	0	0
1	0	0	0
1.53	***26.5***	***0.64***	***116.07***
2	50	1.2	438.0
2.5	160	3.8	1,401.6
3	250	6.0	2,190.0
3.31	***305.8***	***7.34***	***1,339.40***
3.5	340	8.2	2,978.4
4	602	14.5	5,273.5
4.5	***852***	***20.448***	***7,463.52***
5	1,325	31.8	11,607.0

7. สรุปผลการทดลอง

จากผลการจำลองทางด้านพลศาสตร์ของไหล (CFD)พบว่าเมื่อกำหนดลมทางเข้า 4.5 เมตรต่อวินาที ลมที่พัดผ่านสิ่งกีดขวางที่เป็นอาคาร A,B,C,D จะมีผลทำให้ความเร็วลมลดลงเนื่องเกิดการไหลแบบปั่นป่วนหลังจากผ่านสิ่งกีดขวาง ทำให้สูญเสียพลังงานไปบางส่วนก่อนที่จะไปถึงใบกังหันลม โดยเมื่อลมพัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือจะทำให้ความเร็วลมจะลดลงเหลือ 3.31 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมที่พัดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้จะทำให้ความเร็วลมลดลงเหลือ 1.53 เมตรต่อวินาที พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก 7,463.52 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ลดลงเหลือ 1,455.47 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี และทำให้ประสิทธิภาพรวมของระบบลดลงเฉลี่ย 20% เมือเปรียบเทียบกับไม่มีสิ่งกีดขวางการไหลของลม

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Amir BashirzadehTabrizi , Jonathan Whale, Thomas Lyons, Tania Urmee, Performance and safety of rooftop wind turbines: Use of CFD to gain insight into inflow conditions, Renewable Energy, Volume 67, July 2014, Pages 242-251

[2] NakJoon CHOI, Sang Hyun NAM, Jae Sung KIM, Sang Min LEE, Kyung Chun KIM, CFD study on aerodynamic power output of a 110 kW building augmented wind turbine, IEEE Conference Publications, 2011

[3] Kaldellis JK, Zafirakis D. The wind energy (r)evolution: a short review of a long history. Renew Energy 2011;36:1887e901.

[4] McIntosh et al., 2008; Mcintosh, 2009; Scheurich, 2011.

[5] Stankovic S, Campbell N, Harries A. Urban wind energy. Earthscan; 2009.

[6] Balduzzi F, Bianchini A, Carnevale EA, Ferrari L, Magnani S. Feasibility analysis of a Darrieus vertical-axis wind turbine installation in the rooftop of a building. Appl Energy 2012;97:921e9.

[7] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi, Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons, UK, 2001.

กลุ่มที่ 2 ความร้อนชุมชน

การวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ทำงานร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

Thermal Performance Analysis of an Organic Rankine Cycle with an Absorption Chiller

ช้างเผือก อินทะวิเดด และ ณัฐพร ไชยญาติ*

Xangpheuak Inthavideth and Nattaporn Chaiyat*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้63 ถ.เชียงใหม่-พร้าว ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

*Email: benz178tii@hotmail.com, +66(0)882523088

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ทำงานร่วมกันกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ซึ่งในงานวิจัยนี้จำลองวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาดประมาณ20 kW_e ที่ใช้สารทำงาน คือ R-245fa และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาดความสามารถการทำความเย็นประมาณ 160 kW ที่ใช้คู่สารทำงาน คือ น้ำ-ลิเธียมโบรไมด์โดยการนำความร้อนทิ้งจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มาป้อนให้แก่ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน สำหรับผลิตน้ำเย็นช่วยในการลดอุณหภูมิ สารทำงานที่เครื่องควบแน่นของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อหาสมการสมรรถนะการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับอุณหภูมิสารทำงานที่จุดต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ก่อนการปรังปรุงมีค่าประมาณ 8%จากสมการสมรรถนะ5 รูปแบบ ผลที่ได้พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์กับผลต่างอุณหภูมิสารทำงานด้านความดันสูงและต่ำสามารถทำนายพฤติกรรมการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่า $R^2 = 0.9945$และ P-value = 5.2678×10^{-06}ในรูปแบบ $\eta_{ORC} = 0.1285(T_{Ref,B} - T_{Ref,C}) - 1.8222$และสมการสมรรถนะระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนวิเคราะห์ทั้งหมด 3 รูปแบบ ผลการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ในรูปแบบ $COP = - 0.0394[(T_G - T_C) / (T_A - T_E)] + 0.8759$ โดยมีค่า$R^2 = 0.9993$ และ P-value = 5.7061×10^{-19}ทั้งนี้ระบบร่วมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ประมาณ 12%

Abstract

This research studiesthe parameters analysis of an R-245fa organic Rakine cycle(ORC) at capacity around 20 kW_ecombined witha Water-LiBr absorption chiller at cooling capacity around 160 kW to find out thermal performance of the both systems. Waste heat from the ORC system is recovered to supply the absorption chiller for cooling refrigerant temperature of the ORC condenser. From the study results, it could be found that the ORCefficiency is around 8% from 5 correlations, which $\eta_{ORC} = 0.1285(T_{Ref,B} - T_{Ref,C}) - 1.8222$ at $R^2 = 0.9945$ and P-value = 5.2678×10^{-06} is the best correlation performance of the ORC system. While, the best correlation performance of the absorption chiller is $COP = - 0.0394[(T_G - T_C) / (T_A - T_E)] + 0.8759$at $R^2 = 0.9993$ and P-value = 5.7061×10^{-19}compared with 3 correlations. For the modified system, it could be seen that the efficiency of modified system is around 12%.

คำสำคัญ: วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน สมการสมรรถนะแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Keywords: Organic Rankine cycle, Absorption chiller, Performance curve, Mathematical model

1. บทนำ

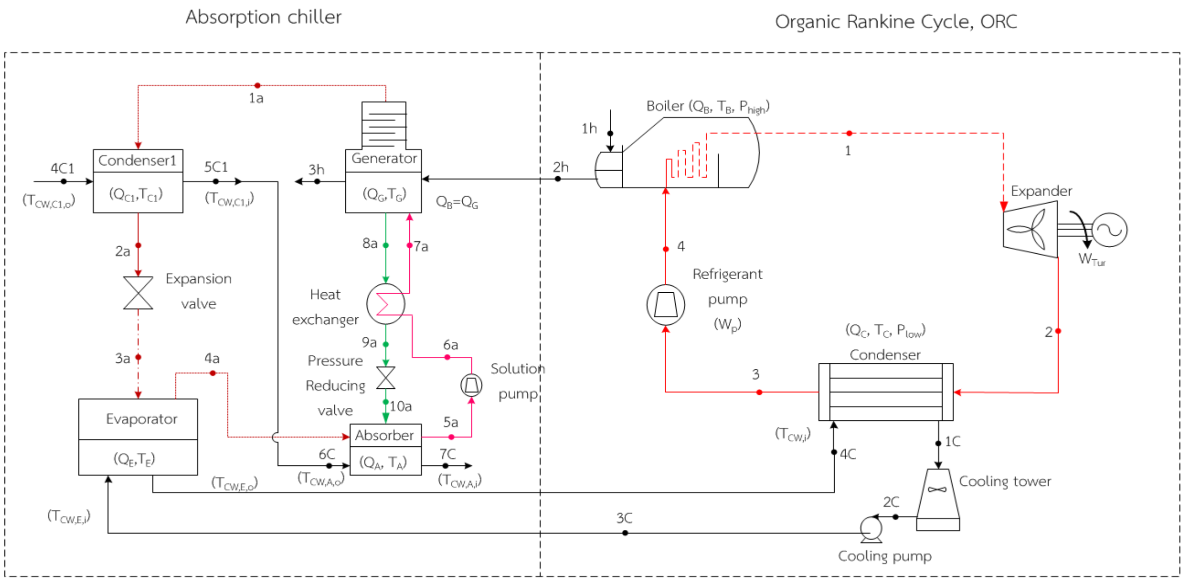
พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ และสังคมเพราะจำเป็นต้องใช้พลังงานในทุกขั้นตอนของการดำเนินงานทั้งทางด้านอุตสาหกรรม คมนาคม เกษตรกรรมและอื่นๆ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้

พลังงานที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ จำนวนประชากร อัตราการเพิ่มของประชากร และระดับของการพัฒนา โดยแหล่งพลังงานพื้นฐานที่สำคัญที่ใช้กันมากในชีวิตประจำวันทั่วไป คือ น้ำมัน ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นต้นเหตุของการทำลายสิ่งแวดล้อม ดังนั้นรัฐบาลไทยเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว โดยได้กำหนดกรอบและทิศทางนโยบายพลังงานของประเทศ ซึ่งมุ่งเน้นไปที่ความมั่นคงด้านพลังงาน เพื่อให้มั่นใจว่ามีเสถียรภาพด้านพลังงานสำหรับประเทศไทย โดยการส่งเสริมและพัฒนาพลังงานทดแทนให้เป็น 25% ของการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศในปี ค.ศ. 2021 ซึ่งวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC) และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption chiller) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาเพื่อใช้พลังงานทดแทนการใช้พลังงานฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้าและการทำความเย็น

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นวัฏจักรที่ใช้สารอินทรีย์เป็นสารทำงานแทนน้ำ จุดเดือดของสารอินทรีย์ต่ำกว่าน้ำ การใช้แหล่งความร้อนคุณภาพต่ำมาขับเคลื่อนวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ [1-3] การนำวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มาใช้ร่วมกับพลังงานทดแทนอาทิเช่นความร้อนเหลือทิ้ง [4-6] พลังงานความร้อนใต้พิภพ[7-9] พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์[10-12]พลังงานความร้อนชีวมวล [13-15]และ พลังงานความร้อนมหาสมุทร [16-18]

สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ Chaiyat and Kiatsiriroat [19] นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption chiller) โดยใช้สมการสมรรถนะ (Performance curve) ของระบบทั้งสองที่ได้จากผลการทดสอบ ผลที่ได้พบว่า ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นประมาณ 7% เทียบกับระบบก่อนการปรับปรุง สอดคล้องกับ Inthavideth and Chaiyat[20] ที่นำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลที่ได้พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์หลังการปรับปรุงมีค่าประมาณ 12% หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 50% เทียบกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ก่อนการปรับปรุง สาเหตุเนื่องมาจากระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ช่วยลดอุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่นของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษาข้างต้น พบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดนำเสนอความรูปแบบสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการทำนายประสิทธิภาพการทำงาน ในรูปแบบสมรรถนะของการทำงานร่วมวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยลดอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนของหอผึ่งความร้อน จากน้ำเย็นที่ผลิตได้จากระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 1ซึ่งเป็นที่มาของงานวิจัยนี้



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานร่วมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และระบบการทำความเย็นดูดกลืน

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนในรูปแบบความสัมพันธ์สมการสมรรถนะการทำงาน (Performance curve)

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 วัฏจักรคาร์โนต์

ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดของระบบด้านความร้อน สามารถอธิบายได้ด้วยประสิทธิภาพคาร์โนต์ (η_{Carnot}) ซึ่งเป็นประสิทธิภาพทางอุดมคติไม่สามารถทำได้จริง โดยวัฏจักรคาร์โนต์สามารถย้อนกลับได้ ประสิทธิภาพคาร์โนต์สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้[22]

$$\eta_{Carnot} = (T_H - T_L) / T_H = 1 - (T_L / T_H) \qquad (1)$$

3.2 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นระบบการทำงานที่ใช้หลักการของวัฏจักรแรงคิน (Rankine cycle) แต่ใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) ที่มีมวลโมเลกุลสูงสามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำหรือมีจุดเดือดต่ำ (Boiling point) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำที่ใช้เป็นสารทำงานในวัฏจักรแรงคินทั่วไป ทำให้วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 100 ^{o}C) [22]

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ดังแสดงในรูปที่ 1มีหลักการทำงาน คือ ของไหลที่ผ่านกระบวนการควบแน่นจนสมบูรณ์ในเครื่องควบแน่น จะควบแน่นเป็นของเหลวอิ่มตัว (จุดที่ 3) และของไหลจะถูกอัดตัวโดยปั๊ม (Pump) ภายใต้กระบวนการไอเซนทรอปิกจนกระทั่งมีความดันสูงขึ้น (P_H) (จุดที่ 4) ภายในหม้อต้ม (Boiler) จากนั้นของเหลวจะถูกให้ความร้อนภายใต้ความดันคงที่ และกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่ง (จุดที่ 1) ในที่สุดไอร้อนยวดยิ่งจะเข้าสู่กังหัน (Turbine) ขยายตัวแบบไอเซนทรอปิก และผลิตงานโดยการขับเพลาที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำให้ความดันและอุณหภูมิของไอสารทำงานลดลง (P_L) (จุดที่ 2) ที่ทางออกของกังหันซึ่งอยู่ในสถานะของผสม (ไอและของเหลว) จากนั้นจะไหลไปควบแน่นยังเครื่องควบแน่นภายใต้ความดันคงที่ กลายเป็นของเหลวอิ่มตัวที่สภาวะ (3) อีกครั้ง [22]

จากรูปที่ 1 สมการทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ พิจารณาที่สภาวะคงตัว (Steady state steady flow, SSSF) สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_B = \dot{m}_{ref}(h_1 - h_4) \quad (2)$$

$$Q_C = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_3) \quad (3)$$

$$W_{Tur} = \dot{m}_{ref}(h_1 - h_2) \quad (4)$$

$$W_P = \dot{m}_{ref}\nu_3(P_H - P_L) / \eta_{s,P} \quad (5)$$

$$\eta_{ORC} = (W_{Tur} - W_P) / Q_B \quad (6)$$

3.3 ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนดังแสดงในรูปที่ 1 มีหลักการทำงานดังนี้ คือ ความร้อนอุณหภูมิสูงเข้าสู่เจนเนอเรเตอร์ (Generator) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่สารละลาย จากนั้นสารทำงาน (Absorbate) ที่มีจุดเดือดต่ำกว่าสารดูดกลืน (Absorbent) จะระเหยกลายเป็นไอและไหลออกจากเจนเนอเรเตอร์ที่ความดันสูง ไอสารทำงานที่ออกจากเจนเนอเรเตอร์ (จุดที่ 1a) ไหลไปยังเครื่องควบแน่น (Condenser1) แล้วควบแน่นกลายเป็นสารทำงานสถานะของเหลว (จุดที่ 2a) ที่ความดันสูง จากนั้นจะไหลผ่านวาล์วลดความดัน (Expansion valve) เพื่อลดความดัน (จุดที่ 3a) เข้าไปในเครื่องระเหย (Evaporator) ซึ่งสารทำงานจะรับความร้อนจากของไหลซึ่งมากพอที่จะทำให้สารทำงานสถานะของเหลวระเหยกลายเป็นไอ (จุดที่ 4a) ที่ความดันต่ำ แล้วไหลเข้าไปยังแอบซอร์พเบอร์ (Absorber) สารทำงานสถานะไอดังกล่าวจะถูกดูดกลืนรวมกับสารละลายความเข้มข้นต่ำ (ความเข้มข้นสารทำงาน) ที่กลับมาจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ทำให้กลายเป็นสารละลายความเข้มข้นสูง (จุดที่ 5a) สารละลายดังกล่าวจะถูกส่งไปยังเจนเนอเรเตอร์ด้วยปั๊มสารละลาย (Solution pump) ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (จุดที่ 6a) และภายในเจนเนอเรเตอร์เนื่องจากสารทำงานในสารละลายระเหยกลายเป็นไอ ทำให้เหลือสารละลายความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสารละลายดังกล่าวจะถูกส่งกลับมายังแอบซอร์พเบอร์ (จุดที่ 8a) โดยถ่ายเทความร้อนให้กับสารละลายความเข้มข้นสูงในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (จุดที่ 9a) จากนั้นจะผ่านวาล์วลดความดัน (Pressure reducing valve) (จุดที่ 10a) แล้วไหลเข้าไปยังแอบซอร์พเบอร์เพื่อดูดกลืนไอสารทำงานต่อไป [22]

จากรูปที่ 1 สมการทางคณิตศาสตร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$Q_G = \dot{m}_{1a} h_{1a} + \dot{m}_{8a} h_{8a} - \dot{m}_{7a} h_{7a} \quad (7)$$

$$Q_{C,AB} = \dot{m}_{1a} h_{1a} - \dot{m}_{2a} h_{2a} \quad (8)$$

$$Q_E = \dot{m}_{4a} h_{4a} - \dot{m}_{3a} h_{3a} \quad (9)$$

$$Q_A = \dot{m}_{4a} h_{4a} + \dot{m}_{10a} h_{10a} - \dot{m}_{5a} h_{5a} \quad (10)$$

$$W_{SP} = [(P_{H,AB} - P_{L,AB})(\nu_{5a}\dot{m}_{5a})] / \eta_{s,SP} \quad (11)$$

$$Q_{HX} = \dot{m}_{8a} Cp_{8a} (T_{8a} - T_{9a}) = \dot{m}_{6a} Cp_{6a} (T_{7a} - T_{6a}) \quad (12)$$

$$COP_{AB} = Q_E / (Q_G + W_{SP}) \quad (13)$$

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน
2. วิเคราะห์การทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยมีเงื่อนไขเริ่มต้นการทำงานจากการจำลองระบบดังต่อไปนี้ [19-20]
   - สารทำงานที่ใช้กับระบบ คือR-245fa
   - ปริมาณความร้อนที่หม้อต้ม (Q_B) เท่ากับ200 kW
   - อุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (T_{1h}) เท่ากับ90-120 ^{o}C
   - ผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ให้ความร้อนกับสารทำงานที่หม้อต้ม ($T_{2h} - T_B$) เท่ากับ 3 ^{o}C
   - ผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าและออกหม้อต้ม ($T_{1h} - T_{2h}$) เท่ากับ 15 ^{o}C
   - อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น ($T_{3C} = T_{4C}$) เท่ากับ 30^{o}C
   - ผลต่างอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าและออกเครื่องควบแน่น ($T_{1C} - T_{4C}$) เท่ากับ 5 ^{o}C

- ผลต่างอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนกับสารทำงานที่เครื่องควบแน่น ($T_C - T_{1C}$) เท่ากับ 3 ^oC
3. วิเคราะห์การทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ดังแสดง มีรายละเอียดของเงื่อนไขเริ่มต้นการจำลองระบบดังต่อไปนี้ [20]
- คู่สารทำงานที่ใช้กับระบบ คือ H_2O-LiBr
- ปริมาณความร้อนที่เครื่องเจนเนอเรเตอร์ ($Q_G = Q_B$) เท่ากับ200 kW
- อุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (T_{2h}) เท่ากับ75-105 ^oC
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนกับสารทำงานที่เจนเนอเรเตอร์ ($T_{3h} - T_G$) เท่ากับ 3 ^oC
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนกับสารทำงานที่เครื่องควบแน่น ($T_{C,AB} - T_{5C}$) เท่ากับ 3 ^oC
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนกับสารทำงานที่แอบซอร์พเบอร์ ($T_A - T_{7C}$) เท่ากับ 3 ^oC
- อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่นเท่ากับอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่เข้าแอบซอร์พเบอร์ ($T_{5C1} = T_{6C}$)
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำเย็นกับสารทำงานที่เครื่องระเหย ($T_{4C} - T_E$) เท่ากับ 3 ^oC
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้าและออกที่เครื่องควบแน่น แอบซอร์พเบอร์ เครื่องระเหย และเจนเนอเรเตอร์ เท่ากับ 5 ^oC
4. วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนเพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่จุดต่างๆ
5. วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองการทำงานร่วมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ก่อนและหลังการปรังปรุง

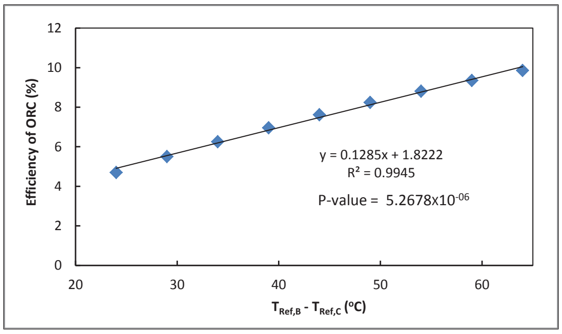
5. ผลและอภิปรายผลการศึกษา

5.1 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

การศึกษาสมการสมรรถนะความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์กับอุณหภูมิของไหลที่อุปกรณ์ในระบบในรูปแบบต่างๆ มีดังต่อไปนี้

- ผลต่างอุณหภูมิของแหล่งความร้อน (Heat source) และแหล่งระบายความร้อน (Heat sink) ($T_{HW,i,B} - T_{CW,i,C}$)
- สัดส่วนอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าหม้อต้มและน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น ($T_{HW,i,B}/T_{CW,i,C}$)
- ผลต่างอุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องระเหยและเครื่องควบแน่น ($T_{Ref,B} - T_{Ref,C}$)
- สัดส่วนอุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องระเหยและเครื่องควบแน่น($T_{Ref,B} / T_{Ref,C}$)
- สัดส่วนของผลต่างอุณหภูมิสารทำงานที่อุปกรณ์ด้านความดันสูงและต่ำ[($T_{Rref,Tur} - T_{Ref,B}$) / ($T_{Ref,C} - T_{Ref,Pump}$)]

โดยผลจากการศึกษา พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์กับผลต่างอุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นในรูปแบบ $\eta_{ORC} = 0.1285(T_{Ref,B}-T_{Ref,C}) - 1.8222$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination) หรือบางครั้งเรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9945เมื่อเทียบกับความสัมพันธ์ในรูปแบบอื่นๆ ถือว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าความน่าจะเป็น (Probabilityvalue,P-value)ที่ความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรแกน x มีผลต่อค่าในแนวแกน y เท่ากับ$5.2678x10^{-06}$ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2ถือว่าเหมาะสม เพราะทำให้การทำนายการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับวัฏจักรคาร์โนต์ที่กล่าวว่า ประสิทธิภาพของระบบการทำงานจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลต่างอุณหภูมิของแหล่งความร้อน และแหล่งระบายความร้อนเพิ่มขึ้น



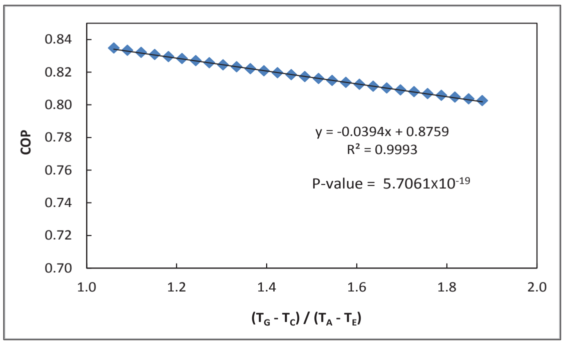
รูปที่ 2 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์กับผลต่างอุณหภูมิสารทำงานด้านความดันสูงและต่ำ

5.2 ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

การศึกษาสมการสมรรถนะความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(Coefficient of performance, COP) กับอุณหภูมิของไหลที่อุปกรณ์ในระบบในรูปแบบต่างๆ มีดังต่อไปนี้

- ผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเจนเนอเรเตอร์และน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น $(T_{HW,i,G} - T_{CW,i,C,AB})$
- สัดส่วนอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเจนเนอเรเตอร์และน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น $(T_{HW,i,G} / T_{CW,i,C,AB})$
- สัดส่วนผลต่างอุณหภูมิในรูปแบบ $(T_G - T_C) / (T_A - T_E)$

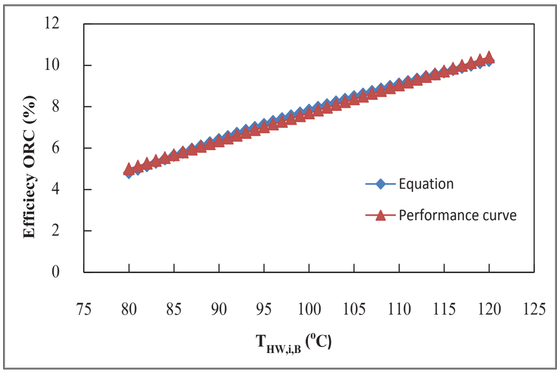
โดยผลจากการศึกษา พบว่า ความสัมพันธ์สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับสัดส่วนของผลต่างอุณหภูมิสารทำงานที่อุปกรณ์ความดันสูงและความดันต่ำในรูปแบบของ $COP_{AB} = -0.0394[(T_G - T_C) / (T_A - T_E)] + 0.8759$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9993$ และ P-value = 5.7061×10^{-19} ดังแสดงในรูปที่ 3ถือว่าเหมาะสม เนื่องจากเป็นความสัมพันธ์ของอุปกรณ์หลักในระบบ ซึ่งทำให้ทำนายการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนได้ถูกต้อง ควบคุม ใช้ทำนายการทำงานของระบบได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับสัดส่วนของผลต่างอุณหภูมิสารทำงานที่อุปกรณ์ความดันสูงและต่ำ

5.3 ประสิทธิภาพวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

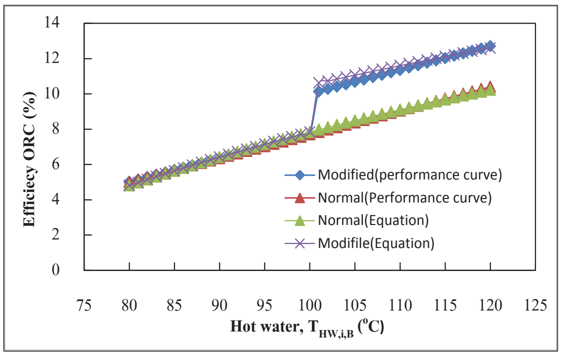
การเปรียบเทียบความถูกต้องของสมการสมรรถนะการทำงานของระบบ กับผลการคำนวณของสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ (สมดุลพลังงาน) ของ Xangpheuak and Nattaporn [20] ซึ่งผลที่ได้ พบว่า ผลการเปรียบเทียบมีความใกล้เคียงกัน แต่การใช้สมการสมรรถนะมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่าแต่ยังคงทำนายพฤติกรรมการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ได้จากสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์และได้จากสมการสมรรถนะ

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานหลังการปรับปรุงมีค่าประมาณ 12% สูงกว่าระบบก่อนปรังปรุงที่มีค่าประมาณ 8% หรือ

ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นประมาณ 50% เมื่อเทียบกับระบบก่อนการปรับปรุง แต่ระบบร่วมจะเริ่มทำงานได้อุณหภูมิน้ำร้อนประมาณ 101°C จึงทำให้ระบบทั้งสองสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ก่อนและหลังการปรับปรุง

โดยการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการจำลองการทำงานของระบบทั้งสองจากการคำนวณ ยังไม่ได้ทำการพิสูจน์ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวโดยผลการทดสอบซึ่งคณะผู้วิจัยจะทำการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนในขั้นตอนต่อไป ดังแสดงภาพถ่ายของต้นแบบระบบทั้งสองที่จะทำการทดสอบต่อไป ในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

รูปที่ 6วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 kW_e

รูปที่ 7ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาดประมาณ 1 TR

6. สรุปผลการศึกษา

จากการจำลองวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20kW_e ที่ใช้สารทำงาน คือ R-245fa ทำงานร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนที่ใช้คู่สารทำงาน คือ H_2O-LiBr สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

- สมการสมรรถนะของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คือ R^2 = 0.9945และ P-value = 5.2678x10^{-06} $\eta_{ORC} = 0.1285(T_{Ref,B} - T_{Ref,C}) - 1.8222$
- สมการสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน คือR^2 = 0.9993 และ P-value = 5.7061x10^{-19} $COP = -0.0394[(T_G - T_C) / (T_A - T_E)] + 0.8759$
- ประสิทธิภาพการทำงานของระบบหลังการปรังปรุงเพิ่มขึ้นประมาณ 50% เมื่อเทียบกับระบบก่อนการปรับปรุง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้ แผนงานพลังงานทดแทนภายใต้โครงการความร่วมมือระหว่างไทย-จีน 2559 ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Yamada N, Tominaga Y, Yoshiba T, Demonstration of 10-WP micro organic Rankine cycle generator for low-grade heat recovery. Energy, 2014, 78, 806 – 813.

[2] Li J, Pei G, Li Y, Wang D, Ji J. Energetic and exergetic investigation of an organic Rankine cycle at different heat source temperature. Energy, 2012, 38, 85 – 95.

[3] Tchanche BF, Lambrinos Gr, Frangoudakis A, Papadakis G. Low grade heat conversion into power using organic Rankine cycle – a review of various applications. Renew Sustain Energy Rev, 2011, 15, 3963 – 3979.

[4] Roy JP, Mishra MK, Misra A. Parametric optimization and performance analysis of a waste heat recovery system using organic Rankine cycle. *Energy*, 2010;35(12):5049-5062.

[5] Quoilin S, Declaye S, Tchanche BF, Lemort V. Thermo-economic optimization of waste heat recovery organic Rankine cycles. *Applied Thermal Engineering*, 2011;31(14-15):2885-2893.

[6] Shu GQ, Liu LN, Tian H, Wei HQ, Yu GP. Parametric and working fluid analysis of a dual-loop organic Rankine cycle (DORC) used in engine waste heatrecovery.*Applied Energy*, 2014;113:1188-1198.

[7] Astolfi M, Romano MC, Bombarda P, Macchi E, Binary ORC. (organicRankine cycles) power plants for the exploitation of medium-low temperature geothermal sources e part A: thermodynamic optimization. *Energy*, 2014;66:423-434.

[8] Hu DS, Li SL, Zheng Y, Wang JF, Dai YP. Preliminary design and off-design performance analysis of an organic Rankine cycle for geothermal sources.*Energy Conversion Management*, 2015;96:175-187.

[9] Liu Q, Duan YY, Yang Z. Performance analyses of geothermal organic Rankine cycles with selected hydrocarbon working fluids. *Energy*, 2013;63:123-132.

[10] Marion M, Voicu I, Tiffonnet AL. Wind effect on the performance of a solar organic Rankine cycle. *Renewale Energy*, 2014;68:651-661.

[11] Wang JF, Yan ZQ, Zhao P, Dai YP. Off-design performance analysis of a solarpoweredorganic Rankine cycle. *Energy Conversion Management*, 2014;80:150-157.

[12] Rayegan R, Tao YX. A procedure to select working fluids for solar organicRankine cycles (ORCs). *Renewable Energy*, 2011;36(2):659-670.

[13] Jradi M, Riffat S. Experimental investigation of a biomass-fuelled micro-scaletri-generation system with an organic Rankine cycle and liquid desiccantcooling unit. *Energy*, 2014;71:80-93.

[14] Uris M, Linares JI, Arenas E. Techno-economic feasibility assessment of abiomass cogeneration plant based on an organic Rankine cycle. *Renewable Energy*, 2014;66:707-713.

[15] Drescher U, Brueggemann D. Fluid selection for the organic Rankine cycle(ORC) in biomass power

and heat plants. *Applied Thermal Engineering*, 2007;27(1):223-228.

[16] Jung H, Hwang JH. Feasibility study of a combined ocean thermal energyconversion method in South Korea. *Energy*, 2014;75:443-452.

[17] Sun FM, Ikegami Y, Jia BJ, Arima H. Optimization design and exergy analysis oforganic rankine cycle in ocean thermal energy conversion. *Applied Ocean Research*, 2012;35:38-46.

[18] Hung TC, Wang SK, Kuo CH, Pei BS, Tsai KF. A study of organic working fluidson system efficiency of an ORC using low-grade energy sources. *Energy*,2010;35:1403-1411.

[19] Chaiyat N, Kiatsiriroat T. Analysis of combined cooling heating and power generation from organic Rankine cycle and absorption system, *Energy*, 2015, Vol.91, 363-370.

[20] XangpheuakInthavideth and NattapornChaiyat. การวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน, เรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 15), 2016, 88-93.

[21] นัฐพร ไชยญาติ. การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable energy system design). วิทยาลัยพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พิมพ์ครั้งที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2559, 291 หน้า.

[22] นัฐพร ไชยญาติ. การนำความร้อนทิ้งกลับคืน (Waste heat recovery). วิทยาลัยพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พิมพ์ครั้งที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2558, 324 หน้า.

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

COP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะ
Cp	ความจุความร้อน (kJ/kg·K)
h	เอนทัลปี (kJ/kg)
$\dot{m}$	อัตราการไหล (kg/s)
P	ความดัน (kPa)
Q	อัตราความร้อน (kW)
T	อุณหภูมิ (^{o}C)
W	กำลังงาน (kW)

ตัวกรีก

η	ประสิทธิภาพ (%)
ν	ปริมาณจำเพาะ (m^3/kg)

ตัวห้อย

A	การดูดกลืน
AB	ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน
B	หม้อไอน้ำ
C	คอนเดนเซอร์
CW	น้ำหล่อเย็น
e	ไฟฟ้า
E	เครื่องระเหย
G	เจนเนอเรเตอร์
HW	น้ำร้อน
HX	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
H	สูง
i	ทางเข้า
L	ต่ำ
o	ทางออก
ORC	วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
P	ปั๊มสารทำงาน
ref	สารทำงาน
SP	ปั๊มสารละลาย
Tur	กังหัน

การศึกษาค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น

Study of the Saturation Efficiency of the Cooling Pad Materials of Evaporative Cooling

บัญญัติ นิยมวาส* อเนก ไทยกุล และ บรรเจิด โปฏกรัตน์

Banyat Niyomvas* Anek Thaikul and Bunjerd Potakarat

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, จังหวัดสงขลา, 90000

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of technology Srivijaya, Songkhla, 90000

*banyat@engineer.com, เบอร์โทรศัพท์: +66-74-315-185, เบอร์โทรสาร: +66-74-315-185

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น โดยวัสดุที่ศึกษามี 3 ชนิด คือ มุ้งกันยุงพลาสติก เสื่อพลาสติก และ แผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ สำหรับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นที่ใช้ในการทดลองมีทางเข้า 3 ทาง ติดตั้งไว้ด้วยแผ่นทำความเย็นที่มีขนาด 0.55 เมตร × 0.55 เมตร และทางออก 1 ทาง ติดตั้งไว้ด้วยพัดลมเป่าอากาศ ในการทดลองได้ปรับความเร็วรอบของ พัดลมเป่าอากาศ ที่ 870, 1160 และ 1450 รอบต่อนาที โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้คงที่เท่ากับ 21.3 ลิตรต่อนาที ผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออก เท่ากับ 0.6, 1.26 และ 2.84 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวของแผ่นทำความเย็นเท่ากับ 19.16, 37.02 และ 80.07 % สำหรับ วัสดุที่ทำจากคือ มุ้งกันยุงพลาสติก เสื่อพลาสติก และ แผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ ตามลำดับ

Abstract

The aim of this research is to study the saturation efficiency of the cooling pad materials for evaporative cooling. Three types of materials are plastic mosquito nets, plastic mat and commercial cooling pad. The evaporative cooling has three inlet that attached with cooling pad having the size of 0.55 m × 0.55 m and the single outlet connected to a blower. In the experimental, the round per minute (RPM) of blower was varied at 870, 1160 and 1450 RPM whereas the flow rate of water was fixed at 21.3 liter per minute (LPM). The result showed that the average of the temperature difference between the inlet and the outlet were 0.6, 1.26 and 2.84 Celsius, and the average of saturation efficiency of the cooling pad were 19.16, 37.02 และ 80.07 % for plastic mosquito nets, plastic mat and commercial cooling pad respectively.

คำหลัก : การทำความเย็นแบบระเหยความชื้น, ประสิทธิภาพการอิ่มตัว, แผ่นทำความเย็น

Keywords: Evaporative Cooling, Saturation Efficiency, Cooling Pad

1. บทนำ

เครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น เป็นเครื่องทำความเย็นที่มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ 1. เป็นระบบทำความเย็นที่ไม่ใช้สารทำความเย็น แต่ใช้น้ำ ทำให้เครื่องทำความเย็นแบบนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 2. ไม่ส่งเสียงดังเหมือนเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ 3. ใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ และ 4. ง่ายต่อการบำรุงรักษา เพราะมีอุปกรณ์น้อยชิ้นกว่านั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามในการใช้งานควรใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นกับพื้นที่เปิดโล่ง เนื่องจากหากใช้กับห้องที่ปิดมิดชิดจะทำให้ความชื้นภายในห้องเพิ่มสูงขึ้นจนผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกไม่สบายตัว

จากข้อดีดังกล่าวจึงทำให้มีการนำเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นไปใช้งานกับงานที่หลากหลายเช่น

การปรับอากาศให้กับพื้นที่บริเวณเปิดโล่งที่ใช้สำหรับจัดเลี้ยง หรือ ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ที่ต้องการปรับอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้มีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม เช่น เจริญพร และสมชาติ (2548) ได้นำการทำความเย็นแบบระเหยไปใช้งานปรับอากาศให้กับโรงเรือนเลี้ยงไหม โดยสามารถทำให้อุณหภูมิโรงเรือนลดลง 6 – 13 องศาเซลเซียส ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 30 – 40% ชนาทิพย์ และ จักรกฤษณ์ (2555) ได้มีการนำเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นไปใช้กับการเลี้ยงไก่เนื้อ โดยมีการปรับปรุงตำแหน่งของพัดลมให้อยู่ใกล้แผ่นรังผึ้ง (Cooling Pad) มากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนลดลง ประมาณ 2 องศาเซลเซียส และสามารถลดต้นทุนค่าไฟฟ้าในส่วนการทำความเย็นได้ร้อยละ 39.70

2. วัตถุประสงค์

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการอิ่มตัว (Saturation Efficiency) ของแผ่นทำความเย็นจากวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ มุ้งกันยุงพลาสติก เสื่อพลาสติก และ แผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น มีหลักการทำงานด้วยกระบวนการทางไซโครเมตริค (Psychrometric Processes) ที่เรียกว่ากระบวนการทำความเย็นและเพิ่มความชื้น (Cooling and Humidification Process) โดยอากาศที่มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำไหลผ่านแผ่นทำความเย็น ซึ่งมีการหยดน้ำหรือพ่นน้ำให้กับแผ่นทำความเย็น ทำให้น้ำหรือความชื้นเกิดการระเหยและผสมไปกับอากาศที่ไหลผ่าน เมื่ออากาศดังกล่าวไหลผ่านแผ่นทำความเย็นที่ชื้นดังกล่าวแล้ว ก็จะมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ลดลงและความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้น จากหลักการทำงานดังกล่าวจึงทำให้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นเหมาะกับการใช้งานสำหรับปรับอากาศที่ไม่ต้องการอุณหภูมิทางออกของอากาศที่ต่ำมากนัก

จากการใช้งานเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นที่หลากหลายและกว้างขวางดังกล่าว ก็ยังพบปัญหาประการหนึ่งก็คือแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ที่ยังมีราคาแพง โดยศิษฐ์ภัณฑ์ (2553) ได้ระบุว่าแผ่นทำความเย็นที่ทำจากแผ่นเซลลูโลสมีราคาสูงถึงประมาณ 1300 – 1500 บาท/ตารางเมตร จึงทำให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาวัสดุทดแทนอื่นๆ ที่จะนำมาใช้แทนแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ที่ทำจากแผ่นเซลลูโลส เช่น นพพร และ อัคครัตน์ (2554) ได้ทำการศึกษาแผ่นทำความเย็นจากวัสดุ 2 ชนิด คือ แกลบและกาบมะพร้าว โดยพบว่า แผ่นทำความเย็นจากแกลบสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 3 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวของแผ่นทำความเย็นเท่ากับ 48.75 % ส่วนแผ่นทำความเย็นจากกาบมะพร้าวสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 3 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวของแผ่นทำความเย็นเท่ากับ 63.45 %

Faleh (2002) ได้ศึกษาสมรรถนะของการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นโดยใช้แผ่นทำความเย็นที่ทำจากวัสดุ jute, luffa, commercial cooling pad และ palm fiber โดยทำการทดลองที่ความเร็วไหลผ่านแผ่นทำความเย็นเท่ากับ 2.4 เมตรต่อวินาที พบว่าแผ่นทำความเย็นที่ทำจากวัสดุต่างๆ ให้ค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัว ดังต่อไปนี้คือ 62.1 % สำหรับ jute, 55.1% สำหรับ luffa, 49.5% สำหรับ commercial และ 38.9 % สำหรับ palm fiber

Kulkarni and Rajput (2010) ได้ศึกษาแผ่นทำความเย็นที่ทำมาจากเชือก โดยกรอบของแผ่นทำความเย็นมีขนาด 0.6 เมตร x 0.6 เมตร และหนา 0.3 เมตร เชือกที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร โดยจัดวางรูปแบบของกลุ่มเชือกไว้ สองรูปแบบ คือแบบ A มีค่า Longitudinal pitch เท่ากับ 25 มิลลิเมตร และ Transverse pitch เป็น 37.5 มิลลิเมตร ส่วนการจัดวางรูปแบบของกลุ่มเชือก แบบ B มีค่า Longitudinal pitch เท่ากับ 25 มิลลิเมตร และ Transverse pitch เป็น 31.25 มิลลิเมตร โดยทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (mass flow rate) เท่ากับ 0.3 – 0.9 กิโลกรัมต่อวินาที ได้ค่า

ประสิทธิภาพการอิ่มตัวของรูปแบบ A มีค่าอยู่ระหว่าง 57% - 73% และ 74% - 87% สำหรับรูปแบบ B ค่าความสามารถในการทำความเย็นของรูปแบบ A มีค่าอยู่ระหว่าง 11,243 – 26,381 กิโลจูลต่อชั่วโมง และ 13,384 – 33,852 กิโลจูลต่อชั่วโมงสำหรับรูปแบบ B

Kulkarni and Rajput (2011) ได้ศึกษาแผ่นทำความเย็น 4 ชนิด คือ Aspen fiber, Rigid Cellulose, Corrugated paper และ HDPE โดยทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ เท่ากับ 0.3 – 1.25 กิโลกรัมต่อวินาที และแผ่นทำความเย็นมีขนาด 0.6 เมตร × 0.6 เมตร พบว่าค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวของ Aspen fiber เท่ากับ 93.7 - 87.5 % ของ Rigid Cellulose เท่ากับ 86.2 – 77.5% ของ Corrugated paper เท่ากับ 80.2 – 88.4% และ 81.9 – 89.7 % สำหรับ HDPE

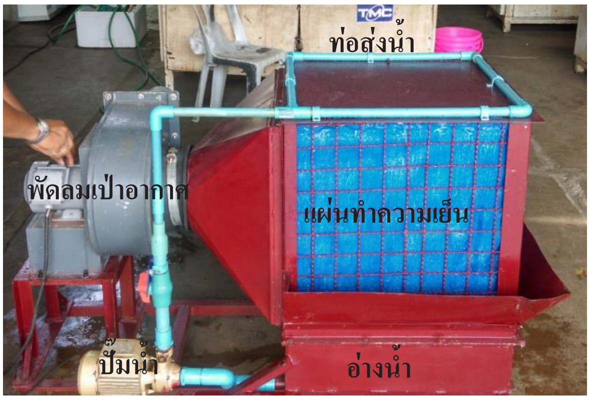
Soponpongpipat and Kositchaimongkol (2011) ได้ศึกษาแผ่นทำความเย็นที่ทำมาจาก rice husk และ recycled HDPE โดยใช้ตะแกรงขนาด 0.5 เมตร x 0.5 เมตร ประกบกัน สองแผ่นแล้วบรรจุเอาไว้ด้วย rice husk และ recycled HDPE ทำการทดลองที่ค่าความเร็วลมเท่ากับ 1, 2 และ 3 เมตรต่อวินาที โดยได้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการอิ่มตัวของแผ่นทำความเย็นที่ทำมาจาก rice husk เป็น 55.9% และ 29.1 % สำหรับแผ่นทำความเย็นที่ทำมาจาก recycled HDPE

4. วิธีการวิจัย

อุปกรณ์

เครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นที่ใช้ในงานวิจัย มีทางเข้าอากาศ 3 ด้าน โดยติดตั้งแผ่นทำความเย็น เอาไว้ที่บริเวณทางเข้าทั้ง 3 ด้าน ขนาดของแผ่นทำความเย็นคือ 0.55 เมตร × 0.55 เมตร บริเวณด้านล่างใกล้กับอ่างน้ำติดตั้งชุดปั๊มน้ำยี่ห้อ EKOMAG รุ่น EK 105QB ที่มีอัตราการไหลสูงสุด 40 ลิตรต่อนาที และสร้างเฮดได้สูงสุด 40 เมตร มอเตอร์ไฟฟ้าขับปั๊มน้ำมีขนาด 0.5 แรงม้า โดยปั๊มน้ำทำหน้าที่ส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำเพื่อไปหยดด้านบนของแผ่นทำความเย็นทั้ง 3 ด้าน ด้านทางออกมี 1 ด้าน ติดตั้งไว้ด้วยพัดลมเป่าอากาศ ยี่ห้อMITSUBISHI รุ่น SF - JR ที่ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้า วัสดุที่ใช้ทำแผ่นทำความเย็น มี 3 ชนิด คือ มุ้งกันยุงพลาสติก เสื่อพลาสติก และ แผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์

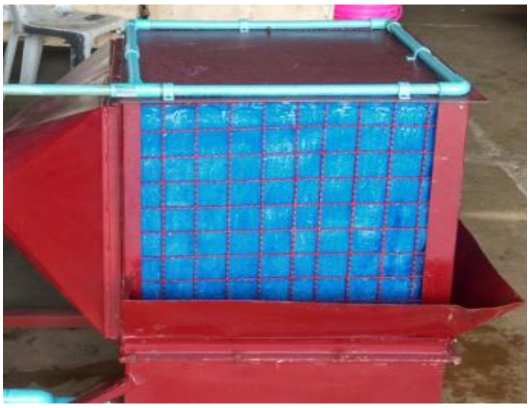
การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นที่ได้สร้างขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 1 ต่อไปนี้



รูปที่ 1 การจัดวางอุปกรณ์ของชุดทดลอง

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย เครื่องวัดความเร็วลมยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-43 ช่วงการวัด 0.4 – 30.0 เมตรต่อวินาที ความละเอียดในการวัด 0.1 เมตรต่อวินาที เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศยี่ห้อ Smart Sensor รุ่น AR 837 มีช่วงการวัดอุณหภูมิ – 10 องศาเซลเซียส ถึง 50 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการวัด ±1 องศาเซลเซียส ช่วงการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ 5%RH - 99%RH ความละเอียดในการวัด ±3%RH และเครื่องปรับความเร็วรอบ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลมเป่าอากาศ ใช้ยี่ห้อ Altivar รุ่น ATV31

การติดตั้งแผ่นทำความเย็นที่ทำจากวัสดุทั้งสามชนิด คือ มุ้งกันยุงพลาสติก เสื่อพลาสติก และ แผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ แสดงได้ดังรูปที่ 2 – 4 ต่อไปนี้



รูปที่ 2 แผ่นทำความเย็นที่ทำจากมุ้งกันยุงพลาสติก

รูปที่ 3 แผ่นทำความเย็นที่ทำจากเสื่อพลาสติก

รูปที่ 4 แผ่นทำความเย็นที่ทำจากแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์

5. วิธีการทดลอง

การทดลองจะเริ่มโดยการเติมน้ำลงไปในอ่างน้ำด้านล่าง หลังจากนั้นติดตั้งแผ่นทำความเย็นที่ทางเข้าทั้งสามทาง เมื่อติดตั้งชุดทดลองเรียบร้อยแล้ว ทำการปรับค่าอัตราการไหลของน้ำจากปั๊มน้ำให้มีค่า 21.3 ลิตรต่อนาที และปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับพัดลมเป่าอากาศให้หมุนที่ความเร็วรอบ 870, 1160 และ 1450 รอบต่อนาที ด้วยเครื่องปรับความเร็วรอบที่ 30, 40 และ 50 เฮิร์ตซ์ หลังจากนั้นให้ชุดทดลองทำงานเป็นเวลา 15 นาที จึงทำการวัดค่าต่างๆ ดังนี้คือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าทั้งสามด้าน โดยวัดที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ห่างจากแผ่นทำความเย็น 5 เซนติเมตร และวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางออก ความเร็วลมที่ทางออก ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ห่างจากปากทางออกของพัดลมเป่าอากาศ 5 เซนติเมตร เมื่อทำการทดลองครบทั้ง สามค่าความเร็วรอบแล้ว จึงทำการเปลี่ยนแผ่นทำความเย็นที่ทางเข้าจนครบ 3 ชนิด

Watt and Brown (1997) ได้แนะนำสมการสำหรับหาค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัว (Saturation Efficiency) ซึ่งใช้สำหรับการเปรียบเทียบสมรรถนะของแผ่นทำความเย็นโดยหาค่าจากสมการที่ 1 ดังต่อไปนี้

$$\eta = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{wb}}\right) \times 100\% \qquad (1)$$

เมื่อ

η = ประสิทธิภาพการอิ่มตัว (%)

T_1 = อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศทางเข้า (องศาเซลเซียส)

T_2 = อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศทางออก (องศาเซลเซียส)

T_{wb} = อุณหภูมิกระเปาะเปียก ของอากาศทางเข้า (องศาเซลเซียส)

6. ผลการวิจัย

จากผลการทดลองสามารถนำมาแสดงค่าได้ดังตารางที่ 1 – 3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดลองแผ่นทำความเย็นจากมุ้งกันยุงพลาสติก

RPM	Average of Inlet			Outlet			η
	T(°C)	%RH	T_w(°C)	T(°C)	%RH	V (m/s)	(%)
870	30.30	79.90	27.40	29.60	87.00	13.20	24.14
1160	30.50	78.27	27.33	29.90	84.30	17.80	18.93
1450	30.60	76.30	27.13	30.10	79.60	22.70	14.41

ตารางที่ 2 ผลการทดลองแผ่นทำความเย็นจากเสื่อพลาสติก

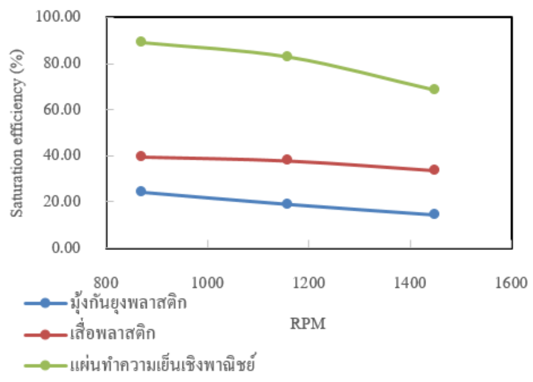
RPM	Average of Inlet			Outlet			η
	T(°C)	%RH	T_w(°C)	T(°C)	%RH	V (m/s)	(%)
870	30.80	77.53	27.51	29.50	87.20	11.70	39.51
1160	30.97	77.27	27.62	29.70	85.50	16.10	37.85
1450	31.20	76.07	27.64	30.00	83.60	20.80	33.71

ตารางที่ 3 ผลการทดลองแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์

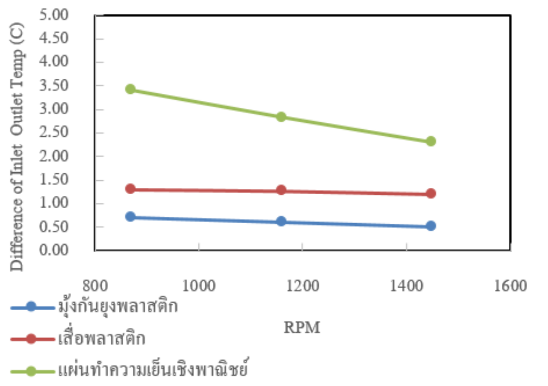
RPM	Average of Inlet			Outlet			η
	T(°C)	%RH	T_w(°C)	T(°C)	%RH	V (m/s)	(%)
870	31.00	74.27	27.18	27.60	99.90	13.00	89.01
1160	30.23	76.47	26.81	27.40	99.90	17.50	82.75
1450	29.60	76.57	26.24	27.30	99.90	22.70	68.45

ค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัว (η) ที่ปรากฏในตารางที่ 1 – 3 หาได้จากการแทนค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศที่ทางเข้า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ทางออก และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ทางเข้าในสมการที่ 1

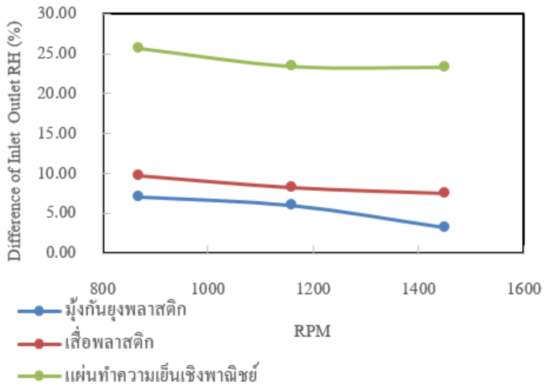
จากข้อมูลผลการทดลองในตารางที่ 1 – 3 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สำคัญได้ดังรูปที่ 5 – 8 ต่อไปนี้



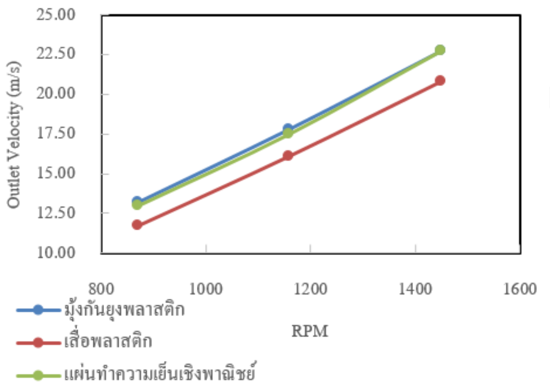
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบพัดลมเป่าอากาศกับประสิทธิภาพการอิ่มตัว



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบพัดลมเป่าอากาศกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศที่ทางออกกับทางเข้า



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบพัดลมเป่าอากาศกับความแตกต่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกกับทางเข้า



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบพัดลมเป่าอากาศกับความเร็วอากาศที่ทางออก

7. อภิปรายผลการวิจัย

ประสิทธิภาพการอิ่มตัว

จากค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวในตารางที่ 1 – 3 และความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของพัดลมเป่าอากาศกับค่าประสิทธิภาพอิ่มตัวที่แสดงในรูปที่ 5 พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของพัดลมเป่าอากาศ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพอิ่มตัวมีแนวโน้มลดลง และพบว่าแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์มีค่าประสิทธิภาพอิ่มตัวสูงสุดคือ 68.45 – 89.01 % เฉลี่ยเท่ากับ 80.07 % เสื่อพลาสติกมีค่าประสิทธิภาพอิ่มตัวรองลงมาคือ 33.71 – 39.51 % เฉลี่ยเท่ากับ 37.02 % และมุ้งกันยุงพลาสติก มีค่าประสิทธิภาพอิ่มตัวต่ำสุดคือ 14.41 – 24.14 % เฉลี่ยเท่ากับ 19.16 %

ความแตกต่างอุณหภูมิอากาศที่ทางออกกับทางเข้า

จากอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ทางออกและทางเข้าในตารางที่ 1 – 3 และ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของพัดลมเป่าอากาศกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศที่ทางออกกับทางเข้าที่แสดงในรูปที่ 6 พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของพัดลมเป่าอากาศ จะส่งผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิอากาศที่ทางออกกับทางเข้ามีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์มีค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศที่ทางออกกับทางเข้าสูงสุดคือ 2.30 – 3.40 องศาเซลเซียส เฉลี่ยเท่ากับ 2.84 องศาเซลเซียส เสื่อพลาสติกมีค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศที่ทางออกกับทางเข้ารองลงมาคือ 1.20 – 1.30 องศาเซลเซียส เฉลี่ยเท่ากับ 1.26 องศาเซลเซียส และมุ้งกันยุงพลาสติก มีค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศที่ทางออกกับทางเข้าต่ำสุดคือ 0.50 – 0.70 องศาเซลเซียส เฉลี่ยเท่ากับ 0.60 องศาเซลเซียส

ความแตกต่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกกับทางเข้า

จากค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกและทางเข้าในตารางที่ 1 – 3 และ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของพัดลมเป่าอากาศกับความแตกต่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกกับทางเข้าที่แสดงในรูปที่ 7 พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของพัดลมเป่าอากาศ จะส่งผลให้ความแตกต่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกกับทางเข้ามีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์มีค่าความแตกต่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกกับทางเข้าสูงสุดคือ 23.33 – 25.63 %RH เฉลี่ยเท่ากับ 24.13 %RH เสื่อพลาสติกมีค่าความแตกต่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกกับทางเข้ารองลงมาคือ 7.53 – 9.67 %RH เฉลี่ยเท่ากับ 8.48 %RH และมุ้งกันยุงพลาสติก มีค่าความแตกต่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกกับทางเข้าต่ำสุดคือ 3.30 – 7.10 %RH เฉลี่ยเท่ากับ 5.48 %RH

ความเร็วอากาศที่ทางออก

จากค่าความเร็วอากาศที่ทางออกในตารางที่ 1 – 3 และ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของพัดลมเป่าอากาศกับความเร็วอากาศที่ทางออกที่แสดงในรูปที่ 8 พบว่า มุ้งกันยุงพลาสติก มีค่าความเร็วอากาศที่ทางออกสูงสุดคือ 13.20 – 22.70 เมตรต่อวินาที ส่วนแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์มีค่าความเร็วอากาศที่ทางออกรองลงมาคือ 13.00 – 22.70 เมตรต่อวินาที และเสื่อพลาสติกมีค่าความเร็วอากาศที่ทางออกสูงสุดคือ 11.70 – 20.80 เมตรต่อวินาที

จากการทดลองการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นโดยการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำแผ่นทำความเย็น และมีการเปลี่ยนความเร็วรอบพัดลมเป่าอากาศส่งผลให้อากาศที่ไหลผ่านวัสดุที่ใช้ทำแผ่นทำความเย็นมีความเร็วที่ทางออกแตกต่างกัน เป็นผลมาจากลักษณะของพื้นผิวของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นทำความเย็น กล่าวคือ มุ้งกันยุงพลาสติก และ แผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์จะมีค่าความเร็วของอากาศที่ทางออกใกล้เคียงกันและสูงกว่าเสื่อพลาสติก แสดงว่าลักษณะความมีรูพรุน หรือ ลักษณะการมีช่องว่างระหว่างพื้นผิวเพื่อให้อากาศไหลผ่านของมุ้งกันยุงพลาสติกและแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์มีค่าใกล้เคียงกันด้วยนั่นเอง ส่วนเสื่อพลาสติกจะมีลักษณะของเส้นพลาสติกที่สานกันเป็นเสื่อค่อนข้างชิดกันมาก ทำให้ช่องว่างระหว่างพื้นผิวเพื่อให้อากาศไหลผ่านมีน้อยลง

จากการทดลองจะปรับอัตราการไหลของน้ำไว้ที่ 21.3 ลิตรต่อนาที สำหรับทุกการทดลอง โดยมีความแตกต่างระหว่างการทดลองเพียงแค่ 2 ประการคือ ชนิดของวัสดุ และ ความเร็วรอบของพัดลมเป่าอากาศ แต่จากผลการ

ทดลอง พบว่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวของแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เสื่อพลาสติก และมุ้งกันยุงพลาสติก ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการระเหยของน้ำที่หยดบนแผ่นทำความเย็นทั้งสามชนิดเข้าไปสู่อากาศที่ไหลผ่าน มีความแตกต่างกัน เนื่องจากแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์มีพื้นที่ผิวที่เป็นลอนตลอดทั้งแผ่นส่งผลให้น้ำที่หยดลงมามีการชะลอตัวของการไหลผ่านแผ่นทำความเย็น ทำให้เกิดการระเหยตัวเข้าสู่อากาศที่ไหลผ่านได้ดีกว่าวัสดุอีกสองชนิด

แต่อย่างไรก็ตาม แผ่นทำความเย็นที่ทำจากเสื่อพลาสติกก็ยังเป็นวัสดุที่น่าสนใจในการนำมาทำแผ่นทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น เนื่องจากค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวของเสื่อพลาสติกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.02 % เมื่อเทียบกับค่าประสิทธิภาพอิ่มตัวของแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.07 % หรือกล่าวได้ว่าเสื่อพลาสติกมีค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัวที่ประมาณครึ่งหนึ่งของแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ อีกทั้ง ความแตกต่างของอุณหภูมิทางออกและทางเข้าของเสื่อพลาสติกที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.26 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับความแตกต่างของอุณหภูมิทางออกและทางเข้าของแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.84 องศาเซลเซียส หรือกล่าวได้ว่าเสื่อพลาสติกมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทางออกและทางเข้าที่ประมาณครึ่งหนึ่งของแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ หากเปรียบเทียบราคาของเสื่อพลาสติกที่มีราคาประมาณ 70 – 100 บาท/ตารางเมตร เมื่อเทียบกับราคาของแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ที่มีราคาประมาณ 1300 – 1500 บาท/ตารางเมตร

8. สรุป

จากการทดลองเพื่อศึกษาการทำงานของแผ่นทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น สาม ชนิด คือ มุ้งกันยุงพลาสติก เสื่อพลาสติก และแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ พบว่า แผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ให้ค่าประสิทธิภาพอิ่มตัวที่สูงสุดคือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.07 % เสื่อพลาสติกให้ค่าประสิทธิภาพอิ่มตัวรองลงมาโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.02 % และมุ้งกันยุงพลาสติกมีค่าประสิทธิภาพอิ่มตัวต่ำสุดคือ เฉลี่ยเท่ากับ 19.16 %

9. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ นายพงษ์ศักดิ์ ถึงมุสิก และนายมุสลิม อะปีเส็ง นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ในการทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัย และคณาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยในครั้งนี้

10. เอกสารอ้างอิง

เจริญพร เลิศสถิตธนกร และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2548). การทำความเย็นแบบระเหยสำหรับโรงเรือนเลี้ยงหนอนไหม. **รายวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.**

ชนาทิพย์ แป้นจันทร์ และ จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์. (2555). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดสำหรับการเลี้ยงไก่เนื้อในกระบวนการทำความเย็น. **การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.**

นพพร เปรมใจ และ อัคครัตน์ พูลกระจ่าง. (2554). การศึกษาประสิทธิภาพแผ่นซับน้ำจากวัสดุธรรมชาติสำหรับโรงเรือนเลี้ยงไก่. **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น**, โรงแรมโฆษะ จังหวัดขอนแก่น.

ศิษฐภัณฑ์ แคนลา. (2553). การออกแบบและการพัฒนาแผ่นทำความเย็นแบบระเหยต้นแบบจากเส้นใยมะพร้าวสำหรับโรงเรือนเกษตรกรรม. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24**, จังหวัดอุบลราชธานี.

Faleh Al-Sulaiman. (2002). Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling. **Energy Conversion and Management** 43: 2267-2273.

J.R. Watt and W.K. Brown. (1997). Evaporative Air Conditioning Handbook, 3rd ed. **The Fairmount Press Inc**.

Nitipong Soponpongpipat and Sukum Kositchaimongkol. (2011). Recycled High-Density Polyethylene and Rice Husk as a Wetted Pad in Evaporative Cooling System. **American Journal of Applied Sciences** 8(2) : 186-191.

R.K. Kulkarni, S.P. S. Rajput. (2010). Theoretical performance analysis of jute fiber rope bank as media in evaporative coolers. **Indian Journal of Science and Technology** Vol. 3 No. 10 : 1075 – 1080.

R.K.Kulkarni, S.P.S. Rajput. (2011). Comparative performance of evaporative cooling pads of alternative materials. **International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies** Vol. 10, Issue No. 2 : 239-244.

การทดสอบการสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลา

The heat-loss testing of parabolic trough receiver

ชานนท์ บุญมีพิพิธ

Chanon Bunmephiphit

chanon.bun@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบการสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลา ที่ออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถผลิตความร้อนได้ในช่วง 80-200ºC โดยมีอัตราการรวมแสง 1:15 โดยเลือกใช้วัสดุเป็นแสตนเลด 316L เป็นท่อซึมซับรังสีอาทิตย์ที่ถูกเตรียมผิวเคลือบด้วยนิเกิล-อลูมิเนียม (Ni-5 wt.% Al) ที่ความหนา 215 µm ด้วยกระบวนพ่นเคลือบด้วยเปลวไฟ เคลือบลงบนผิวท่อซึมซับแสงอาทตย์ที่ถูกครอบด้วยหลอดแก้วทนความร้อนตลอดความยาวและสูบอากาศออกจนมีแรงดันต่ำ (~0.25 inHg±15%)ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลาถูกทดสอบการสูญเสียความร้อนโดยการให้พลังงานความร้อนจากภายในท่อซึมซับรังสีอาทิตย์อย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวท่อในช่วงอุณหภูมิ 40-200ºCเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในท่อซึมซับรังสีอาทิตย์และที่ผิวของหลอดแก้วด้านนอก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียความร้อนในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นมีค่า 1.321 W/m และเพิ่มขึ้นถึง 38.601 W/m ที่ 200ºC ซึ่งเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในลักษณะเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ที่ถูกใช้งานจริงในปัจจุบันA และ B โดยทั้งสองตัวอย่างที่มีค่าการสูญเสียความร้อนสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด

Abstract

This research aimed to test heat losses from Parabolic Trough Collector (PTC) that the PTC was designed to be suitable for industrial use with temperature between 80-200ºC. The concentration ratio were 1:15. Absorber pipe materials used was stainless steel 316L coated with Nickel-Aluminum (Ni-5wt. %Al) by spray coating techniques to make a thickness of surface substrate as for 215 µm. The Ni-Al solar selective was successfully coated on stainless steel 3116L pipe and air between the solar selective covered with borosilicate glass tube was vacuumed unit a pressure inside low (~0.25 inHg±15%). A solar parabolic trough collector was heated from inner absorber pipe to steady state temperature 40ºC-200ºC all the absorber length. Consider the relationship of temperature between inner absorber temperature and outer glass tube. The result showed, the heat-loss in starting temperature tested (40ºC) was 1.321 W/m and increase to 38.601 W/m at 200ºC. The heat-loss of NiAl surface was compared with two commercial products A and B. The heat-loss of NiAl surface was a lower energy loss both two commercial products.

คำหลัก:การพ่นด้วยเปลวไฟ, ผิวเลือกรับรังสีอาทิตย์, การสูญเสียความร้อน

Keywords: Thermal Spray, Solar Selective Surface, Heat-Loss

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานธรรมชาติที่เป็นพลังงานสะอาด [1] และปราศจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ การนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตความร้อนนั้นสามารถกระทำได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์หรือแม้กระทั่งการผลิตความร้อนโดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ ที่มีการใช้งานมาอย่างยาวนานไม่น้อยกว่า 25 ปี การผลิตความร้อนโดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์สามารถจำแนกอุณหภูมิการใช้งานที่ต่ำกว่า 100ºC และระบบผลิตน้ำร้อนที่สูงกว่า 100ºC [2]หรือสามารถแบ่งโดยใช้ระบบการติดตามได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ Stationary เช่น Flat-plate collector, Evacuated tube collector, compound parabolic collector และ Sun tracking เช่น Linear Fresnel reflector, Cylindrical trough collector, Parabolic trough collector, Parabolic dish reflector, Heliostat field collector [3]ตัวรับรังสีอาทิตย์แต่

ละประเภทนั้นมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการออกแบบละความสามารถในการผลิตความร้อน สำหรับตัวรับรังสีอาทิตย์แทบทุกชนิดมีการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลักและผลิตได้เองในประเทศบางส่วน อีกทั้งทั้งสองรูปแบบยังมีราคาสูง [4, 5]ที่ผ่านมาพบว่า ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิด Parabolic trough collector ถูกดำเนินงานรูปแบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากบริษัท Thai Solar Energy Public Company Limited ณ อำเภอห้วยกระเจา จังหวัดกาญจนบุรี และตัวรับรังสีอาทิตย์แบบดังกล่าวยังมีการรายงานสามารถประยุกต์ใช้นิเกิลอลูมิเนียม (Ni-5 wt.%Al) เคลือบผิวท่อสแตนเลด 316L ด้วยความหนา 215 ไมโครเมตร [6] ใช้เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลา

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยจึงทำการประเมินอัตราการสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงพาราโบลา ที่เตรียมผิวด้วยกระบวนการพ่นด้วยเปลวไฟ Thermal spray coating ด้วย Ni-5 wt.% Al บนท่อสแตนเลด 316L หนา 215 ไมโครเมตร ครอบด้วยหลอดแก้วทนความร้อน และทดสอบการสูญเสียความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 40-200ºC เปรียบเทียบกับตัวรับรังสีลักษณะเดียวกันที่มีการใช้งานจริง 2 ผลิตภัณฑ์ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียความร้อนต่อความยาวท่อซึมซับแสงอาทิตย์

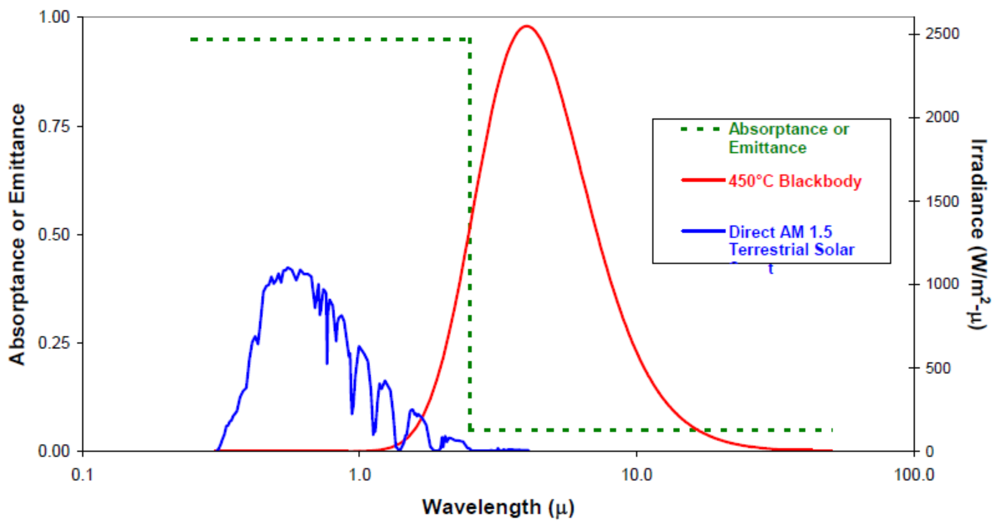
3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การบริโภคพลังงานของประเทศไทยมีอัตราเพิ่มขึ้นร้อนละ 60 ของการนำเข้าดังแสดงให้เห็นในปี พ.ศ. 2554 และส่งผลต่อการนำเข้าในปี พ.ศ. 2555 เพิ่มขึ้นกว่าเดิมอีกร้อยละ 18.4 ทั้งนี้เนื่องมากจากความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีอัตราการเพิ่มขึ้นในแต่ละปี[7, 8]สำหรับประเทศไทย ซึ่งมีศักยภาพความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยในวันหนึ่งมีค่าสูงถึง 16.9-18.2 $MJ/m^2/day$[7]ดังนั้นจึงเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกแรกที่เหมาะสมกับประเทศไทย การประยุกต์ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์หรือเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปแบบอื่นๆ ต้องใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่แตกต่างกันออกไป

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) มีความสำคัญต่อเทคโนโลยีเกี่ยวกับการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปของความร้อน เมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์รับพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ให้กับระบบผลิตน้ำร้อนหรืออากาศรังสีอาทิตย์ พลังงานจากรังสีอาทิตย์ถ่ายโอนไปยังของไหลในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ความร้อนที่ได้ส่งผ่านจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์และนำไปใช้งานตามความต้องการ ปัจจุบันตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในท้องตลาดมีความแตกต่างกันทั้งในด้านคุณภาพ สมรรถนะ การติดตั้ง และราคาคุณสมบัติการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนความร้อนต้องอาศัยตัวดูดกลืน (Absorber) หรือที่เรียกว่า “ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์” (Solar Selective Absorber) ทำหน้าที่รับและถ่ายโอนความร้อน ไหลผ่านช่อง(ท่อ) จากตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์เปลี่ยนเป็นความร้อน และนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปยังสารทำงานภายในท่อนำความร้อน (Heat pipe)

ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในอุดคตมีคุณสมบัติ คือ มีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ต่ำ($R = 0$)และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่สูง ($\alpha = 1$) ในช่วงความยาวคลื่น 300 – 2,500 นาโนเมตร[4, 9]ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของรังสีอาทิตย์ที่ผ่านมายังโลก ในขณะที่ช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 2,500 นาโนเมตรเป็นต้นไป ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นอินฟาเรต มีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ต่ำ($R = 1$)และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่สูง ($\alpha = 0$) (เส้นประ) [4] จากความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่1 ซึ่งสมบัตินี้มีความแตกต่างกับวัตถุดำ คือ วัตถุดำมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่สูง ($\alpha = 1$) และมีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่สูง ($R = 1$) ในอดีต มีกรรมวิธีการเคลือบผิวต่างๆ ได้แก่การเคลือบอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีผงนิเกิล บนแผ่นอะลูมิเนียม (Nickle-pigmented aluminium oxide on aluminium) การเคลือบ

โครเมียมสีดำที่ขนาบด้วยชั้นของนิกเกิลบนแผ่นทองแดง (Black chrome with nickel sandwich layer on copper) การเคลือบโครเมียมสีดำบนแผ่นทองแดงโดยตรง (Black chrome directly on copper) และการเคลือบโคบอลท์ซัลไฟด์/ออกไซด์บนแผ่นเหล็ก(Cobalt sulphide /oxide (selective) on steel sheet) ปัจจุบันสารเคลือบตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีการใช้สารเคลือบโครเมียมดำเป็นหลัก ยกตัวอย่างเช่น นิกเกิลดำ ผลึกดำ เป็นต้น [9] และยังสามารถใช้วัสดุเลือกรับรังสีดังกล่าวกับกระบวนการพ่นด้วยเปลวไฟ [6] เพื่อเตรียมผิวเลือกรับรังสีอาทิตย์ได้อีกประเภทหนึ่ง



ภาพที่ 1 Spectral performance of an ideal selective solar absorber[4]

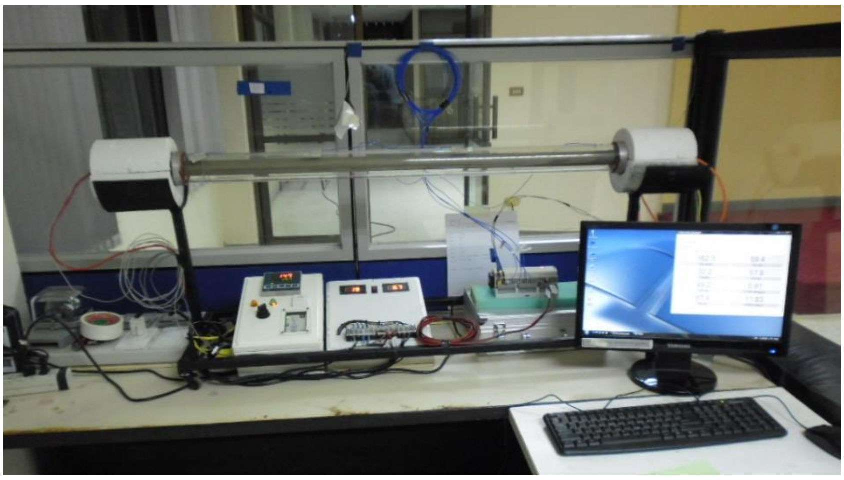
4. ระเบียบวิธีการวิจัย

ขั้นตอนการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลาบนแท่นทดสอบแสดงรูปที่ 2 ตัวรับรังสีอาทิตย์จะถูกติดตั้งบนแท่นทดสอบที่มีฉนวนกันความร้อนรองรับน้ำหนักอยู่ที่ด้านปลายของแต่ละข้างของท่อซึมซับรังสีอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกทำจากสแตนเลส 316L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33.3 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร (เฉพาะส่วนที่เคลือบผิวเลือกรับรังสีอาทิตย์) และเกลียวขนาด 0.5 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร สำหรับเป็นข้อต่อของสารทำงานสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน ส่วนที่เคลือบผิวเลือกรับรังสีอาทิตย์ครอบด้วยหลอดแก้วทนความร้อน (Borosilicate glass tube)ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 55 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 65 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตรที่ยึดตรึงกับท่อซึมซับรังสีอาทิตย์ด้วยวงแหวนอลูมิเนียม (Expansion joint) เพื่อทำให้มีความดันอากาศภายในหลอดแก้วต่ำที่สุด ~0.25 inHg±15% ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิชนิด Type-K -40…+1250ºC ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ตามรูปที่ 3 ประกอบด้วยการวัดอุณหภูมิภายในท่อซึมซับรังสีอาทิตย์ 4 ตำแหน่ง และด้านนอกที่ผิวแก้ว 4 ตำแหน่ง โดยจะใช้อุณหภูมิเฉลี่ยในการพิจารณา

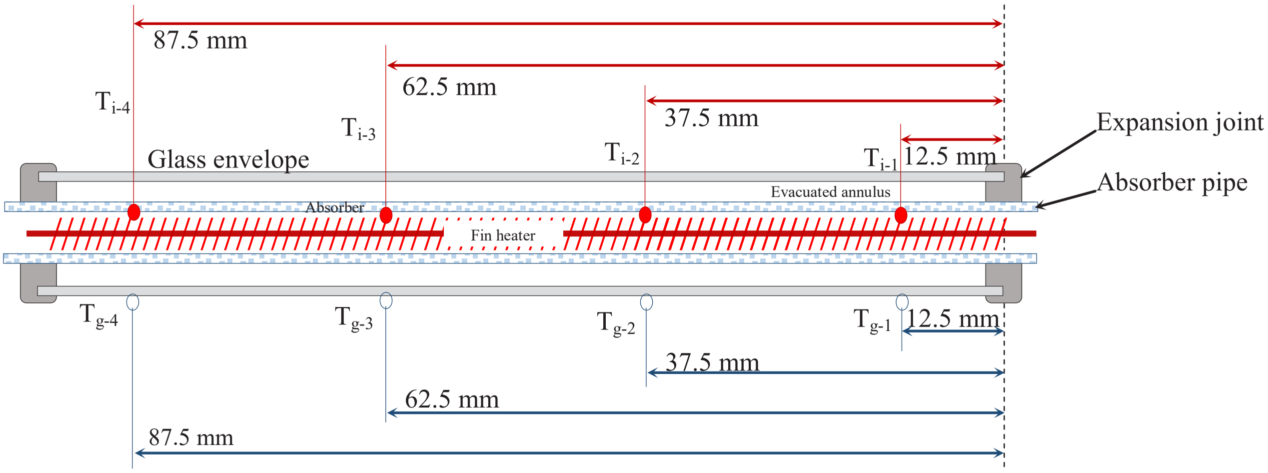
การให้ความร้อนเพื่อพิจารณาการทดลองการสูญเสียความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 40-200ºC จะเพิ่มขึ้นครั้งละ 20ºC ในสภาวะคงที่นานอย่างน้อย 30 นาที ความร้อนจะถูกให้จากขดลวดความร้อนแบบคลีบ Fin-heater 220VAC ให้กับท่อซึมซับรังสีอาทิตย์อย่างสม่ำเสมอ ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านท่อซึมซับรังสีอาทิตย์และจะถูกป้องกันไว้ด้วยสภาวะสุญญากาศ แต่ก็จะมีบางส่วนที่

หลุดรอดออกไปได้ด้วยกระบวนแผ่รังสีความร้อน การทดสอบจะกำหนดอุณหภูมิการทดสอบจากด้านในของท่อซึมซับรังสีอาทิตย์ที่ถูกให้ความร้อนเป็นตัวกำหนดช่วงการทดสอบ และพิจารณาอุณหภูมิผิวแก้วด้านนอกสุดเพื่อหาความสัมพันธ์ของการสูญเสียพลังงาน พลังงานความร้อนที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมินั้นจะพิจารณาให้มีค่าเท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของขดลวดความร้อน

พลังงานไฟฟ้าถูกวัดจาก WISCO Voltage transducer VT95 0-300VAC และ WISCO Current TransducerCT95 0-5 AAC ทุกๆ วินาที ผ่านเครื่องมือบันทึกข้อมูลพร้อมกับค่าของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเวลาดังกล่าว



รูปที่ 2 ผังการทดสอบ



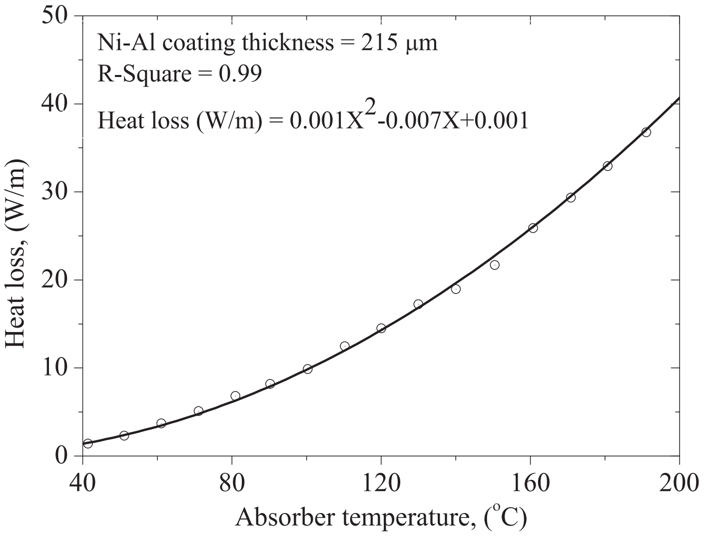
รูปที่ 3 แผนผังการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ

5. ผลการวิจัย

ผลการทดลองการสูญเสียความร้อนของตังรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลา ที่มีความหนาของชั้นผิวเคลือบ Ni-Al 215 ไมโครเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร การสูญเสียความร้อนพิจารณาต่อความยาวของตัวรับรังสีอาทิตย์ ที่อัตราการสูญเสียความร้อนถูกรายงานในแกน Y ที่เป็นอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ส่งให้ฮีทเตอร์ใช้งานที่ของอุณหภูมิคงที่ และแกน X คืออัตราการเพิ่ม

อุณหภูมิของท่อซึมซับรังสีอาทิตย์ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในของท่อ

การสูญเสียความร้อนขณะเริ่มต้นการทดสอบที่ 40ºC มีการสูญเสียพลังงานออกไป 1.321W/m และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีอัตราการสูญเสียความร้อน38.601 W/m ที่อุณหภูมิ 200ºC ซึ่งแนวโน้มการสูญเสียความร้อนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในรูปแบบของพาราโบลาที่มีความชันเป็นบวกแสดงในรูปที่ 4 อัตราข้อกำหนดการทดสอบในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนั้น เป็นช่วงอุณหภูมิใช้งานสำหรับงานผลิตน้ำร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม การสูญเสียความร้อนมีปัจจัยมาจากความสามารถในการรับและคายความร้อนของวัสดุ การออกแบบและสภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งหากพิจารณาวัสดุที่ใช้ทำท่อซึมซับรังสีอาทิตย์ที่นำสแตนเลส 316L ที่มีค่าการนำความร้อนในช่วง 16.3-21.5 W/m.K ที่อุณหภูมิระหว่าง 100-500ºC และการขยายตัวที่ 100ºC มีค่า 16.0×10^{-6}/ºC และได้เคลือบผิวอีกชั้นด้วยการละลาย Ni-Al เมื่อพิจารณาโดยรวมค่าการนำความร้อนของสารเคลือบ NiAl 76 W/m.K ซึ่งการนำความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปและการสูญเสียความร้อนสำหรับกรณีศึกษานี้ จะเป็นการสูญเสียความร้อนในรูปแบบของการแผ่รังสีความร้อนออกจากท่อซึมซับรับสีอาทิตย์ที่มีหลอดแก้วครอบละทำเป็นสภาวะสูญญากาศเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนในรูปแบบของการนำความร้อน แต่การแผ่รังสีความร้อนเป็นการแผ่รังสีความร้อนออกไปในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของความร้อนของอนุภาคมีประจุสสารซึ่งไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างหลอดซึมซับรังสีอาทิตย์ที่มีความกดอากาศต่ำ (สภาวะสูญญากาศ) ไปยังผิวแก้วทนความร้อนด้านในแล้วจึงเปลี่ยนเป็นความร้อนที่เคลื่อนที่ผ่านไปยังผิวแก้วด้านนอกด้วยกระบวนการนำความร้อน ซึ่งเป็นจุดที่ใช้ค่าในการพิจารณาค่าการสูญเสียความร้อนในการทดลองครั้งนี้



รูปที่ 4 ผลสรุปการสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลาที่ความหนาของผิวเคลือบ 215 ไมโครเมตร

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ากระบวนเคลือบแบบพ่นด้วยเปลวไฟ เป็นกระบวนการสร้างผิวเคลือบด้วยการละลาย NiAl ด้วยความร้อนสูงให้ไปตกกระทบท่อสแตนเลสที่เตรียมผิวด้วยกระบวนการพ่นทรายเพื่อเพิ่มการยึดเกาะแสดงในรูปที่ 5(ก) ผิวเคลือบที่ได้จากการเคลือบดังกล่าวนั้น จะมีลักษณะขรุขระที่สม่ำเสมอตลอดทั้งพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 5(ข) มีลักษณะคล้ายกับการขว้างดินน้ำมันไปตกกระทบกำแพงด้วยความแรงจึงทำดินน้ำมันบี้แบนแนบติดไปกับท่อซึมซับและซ้อนทับกันเป็นชั้น มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5(ข) ซึ่งแตกต่างจากการเคลือบด้วยกระบวนการอื่นๆ ที่ผิวเคลือบจะราบเรียบไม่มีความหยาบ ความหยาบของผิวเคลือบจากกระบวนการพ่นเคลือบด้วยเปลวไฟจะมีคุณลักษณะเหมาะสมต่อการเป็นผิวเลือกรับรังสีอาทิตย์และมีอัตราการซึมซับรังสีอาทิตย์ที่ดีกว่าแบบราบเรียบหรือขัดมัน และผลการทดลองการสูญเสียความร้อนนำไปพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบชนิดอื่น ชนิด A และ B [10, 11]แสดงในรูปที่ 5 ตลอดช่วงอุณหภูมิการทดสอบพบว่า ผิวเคลือบที่มีความหยาบนั้นนอกจากจะสามารถเพิ่มพื้นที่ในการซึมซับรังสีอาทิตย์แล้วยังลดการสูญเสียการสูญเสียความร้อนได้สูงกว่าการเคลือบผิวเลือกรับรังสีอาทิตย์ชนิดอื่นที่มีความราบเรียบมากกว่า

ก. ข.

รูปที่ 5 ก. ขั้นตอนการสร้างผิวเคลือบบนท่อซึมซับรังสีอาทิตย์, ข. ลักษณะพื้นผิวเคลือบที่มีความหนา 215 ไมโครเมตร

6. สรุป

จากการประเมินการสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลา ที่เตรียมผิวเคลือบด้วย Ni-5 wt.% Al ด้วยกระบวนการเคลือบด้วยเปลวไฟบนผิวตัวเลือกรับรังสีอาทิตย์ของท่อซึมซับรับสีอาทิตย์ที่ครอบด้วยหลอดแก้วที่เป็นสูญญากาศ และทดสอบในช่วงอุณหภูมิใช้งานสำหรับการผลิตน้ำร้อน 80-200°C ในโรงงานอุตสาหกรรม มีอัตราการสูญเสียความร้อนที่ต่ำและต่ำกว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดเดียวกันในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวด้วย ดังนั้นการทดสอบการสูญเสียความร้อนของผิวเลือกรับรังสีอาทิตย์ของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงพาราโบลามีศักยภาพในการใช้งานที่ดีและสามารถแข่งขันในเชิงพาณิชย์เพื่อใช้ประโยชน์ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนด้วย

พลังงานแสงอาทิตย์ในครัวเรือนหรือในโรงงานอุตสาหกรรม

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ในการสนับสนุนพื้นที่ในการทดลองตลอดโครงการ และความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำงานวิจัยและอุปกรณ์ทดสอบต่างๆ

8. เอกสารอ้างอิง

1. Beckman, J.A.D.a.W.A., **Solar Engineering of Thermal Processes**. Vol. 3. 2006, Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
2. Tawat, N.P.a.S., **Economic Evaluation of Applying Anodized Aluminium as Solar Absorber in Evecuated Tube Collector (ETC)**, in The 7th Thailand Renewable Energy for Community Conference. 2014: Prachuap Khiri Khan, Thailand.
3. Kalogirou, S.A., **Solar Energy Engineering Processes and Systems**. 2009, United States of America.
4. Kennedy, C.E., **Review of Mid to High Temperaute Solar Selective Absorber Materials**. 2002, National Renewable Energy Laboratory.
5. Kalogirou, S.A., **Solar thermal collectors and applications**. Progress in Energy and Combustion Science, 2004. 30(3): p. 231-295.
6. Chanon Bunmephiphit, et al., **Characterization of Ni-Al Solar Absorber Prepared by Flame Spray** Technique. Key Engineering Material, 2016. 675-676: p. 477-481.
7. Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency (DEDE), D.o.E., **The development guide of renewable energy investments**. Vol. 2. 2010.

8.Thailand, E.G.A.o. **Electricity demand**. 2016; Available from: http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=353&Itemid=200.

9. Kalogirou, S.A., **A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver**. Energy, 2012. 48(1): p. 298-306.
10. Kutscher, F.B.a.C., **Heat loss testing of Solel UVAC3 Parabolic trough receiver**. 2008.
11. Kutscher, F.B.a.C., **Heat Loss testing of Schoot 2008 PTR70 Parabolic Trough receiver**. 2009: United State.

TREC-9 | กลุ่มที่ 3 เชื้อเพลิงชุมชน

Thailand Renewable Energy for Community Conference

การศึกษาอัตราส่วนของของแข็งรวมที่เหมาะสม สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของซังข้าวโพดบดและน้ำเสีย

Study the Ratio of Total Solid for Biogas Production from Co-digestion ofCorncob and Wastewater

จิราพร เผ่าเอี้ยง[1]และ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร[1*]

JirapornPao-aiang[1] and JutapornChanathaworn[1*]

[1]สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้
วิทยาลัยพลังงานทดแทน 63 ม.4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

[*]E-mail:winchana.jc@gmail.com,098-7485459

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของน้ำเสียจากการบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบด โดยทำการทดลองที่ 5 ตัวอย่างการทดลองในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ส่วนผสมการหมักต่างกันตามอัตราส่วนของของแข็งรวม(Total Solid) คือ 8%, 10%, 12%, 14% และ 16% ในระบบหมักขาด 1 ลิตร ภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ระยะเวลาการหมัก 30 วัน ผลการวิจัยพบว่า ชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของของแข็งทั้งหมด (TS) 10% มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด 2,530ml และให้ผลผลิตของมีเทนเฉลี่ย 0.070 m^3CH_4/kg $COD_{removed}$ชุดทดลองที่มีอัตราส่วนของของแข็งทั้งหมด 16% มีปริมาณก๊าซชีวภาพต่ำสุดเทียบกับชุดทดลองอื่นคือ 1,810 ml ให้ผลผลิตของมีเทนเฉลี่ย0.029m^3CH_4/kg $COD_{removed}$จากการผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบดสามารถนำไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำบีบข้าวโพดและซังข้าวโพดบดเป็นการสร้างแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับใช้ในภาคอุตสาหกรรมและชุมชน

Abstract

The objective of this study was to investigate the biogas production from co-digestion of wastewater from sweet corncob milling process and sweet corncob.With five experiments on the biogas production compared the ratio of total solid(TS) 8%, 10%, 12%, 14% and16% in a 1 L under anaerobic digestion. The experiment was set under ambient temperatures and reaction time of 30 days.The results showed that the condition of TS 10%produced the highest biogas production 2,530 mland the methane yield0.070 m^3CH_4/kg $COD_{removed}$. The study indicated thatthe condition of TS 16%producedthe lowest of biogas total 1,810 mlandand the methane yield 0.029 m^3CH_4/kg $COD_{removed}$.The results found that sweet corncob milling process and sweet corncob could be used for biogas production. Biogas production from wastewater and sweet corncob can be used for renewable energyresource for industry and communities.

คำหลัก : ก๊าซชีวภาพ,ของแข็งรวม, การหมักร่วม, น้ำเสีย, ซังข้าวโพดบด

Keywords : biogas,total solid, co-digestion, wastewater, corncob

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลกสูงขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการใช้พลังงานสูงขึ้น ซึ่งสวนทางกับแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในปัจจุบันที่มีปริมาณลดลง หลายประเทศทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยให้ความสำคัญกับปัญหาการขาดแคลนพลังงาน โดยกระทรวงพลังงานได้ดำเนินการจัดทำ แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) ขึ้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558). เพื่อให้ประเทศไทยพัฒนาพลังงานทดแทนให้เป็นหนึ่งในพลังงานหลักของประเทศ เพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศ ลดการนำเข้าพลังงานจากประเทศอื่น ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในภาคอุตสาหกรรมและชุมชน ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศที่เติบโตจากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก เช่น น้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรม ของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กากมัน ซังข้าวโพด ชานอ้อย รวมถึงของเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม จำพวก ซังข้าวโพด เปลือกข้าวโพด เป็นต้น การนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ ในการสร้างเป็นพลังงานทดแทน โดยการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นการแก้ปัญหาในการกำจัดของเหลือทิ้ง และลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียจำพวกจุลินทรีย์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) ก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50%, ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือแก๊สไข่เน่า (H_2S), ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และ ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ซึ่งก๊าซชีวภาพสามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยสามารถจุดติดไฟได้สร้างเป็นแหล่งพลังงานความร้อน และนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรม การให้ความร้อนกับพืชผลทางการเกษตร หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในภาคชุมชนและครัวเรือน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบด ภายใต้สภาวะการหมักแบบออกซิเจน โดยการนำซังข้าวโพดบดหรือเศษวัชพืชมาหมักร่วมกัน เป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีกว่าการหมักก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียหรือมูลสัตว์เพียงอย่างเดียว คิดเป็น 5-25% (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548)วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษานี้คือน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบด โดยจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดใกล้เคียงมีการปลูกข้าวโพดเป็นจำนวนมาก เพื่อส่งให้กับโรงงานอุตสาหกรรม ในการผลิตข้าวโพดกระป๋องส่งออกนั้น จะต้องการแค่ส่วนของเม็ดข้าวโพดเพียงเท่านั้น ส่วนของเปลือกและซังข้าวโพดจึงเป็นปัญหามากสำหรับโรงงานในการกำจัดวัสดุเหล่านี้ วิธีการกำจัดซังข้าวโพดและเปลือกข้าวโพดของโรงงานในปัจจุบันคือ การนำซังข้าวโพดและเปลือกเข้าเครื่องบดเพื่อบีบน้ำซังข้าวโพดออกโดยจะนำซังข้าวโพดที่บดแล้วไปรมควันร้อนเพื่อเป็นการลดความชื้นในซังข้าวโพดบดเพื่อจะนำซังข้าวโพดบดที่มีความชื้นต่ำใช้เป็นเชื้อเพลิงในการสร้างความร้อนให้กับหม้อต้มไอน้ำ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโรงงาน ซึ่งขั้นตอนเหล่านี้เป็นการสร้างต้นทุนในการกำจัดซังข้าวโพดและเปลือกข้าวโพด เนื่องจากผลตอบแทนที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นยังไม่มากพอ หากนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในการหมักก๊าซชีวภาพ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อลดปัญหาการกำจัดวัสดุเหลือทิ้ง ลดต้นทุนในการสร้างแหล่งพลังงานทดแทน เนื่องจากสามารถนำซังข้าวโพดบด และน้ำเสียจากการบีบซังข้าวโพดมาใช้ได้เลย และการนำซังข้าวโพดบดและน้ำบีบซังข้าวโพดหมักร่วมกัน เป็นการเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบด

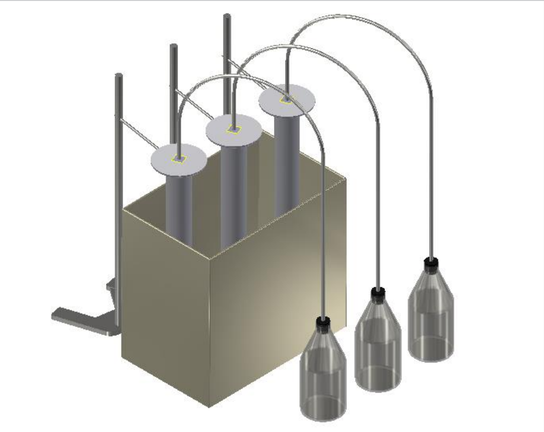
2.เพื่อศึกษาสัดส่วนของของแข็งรวมที่เหมาะสมในการหมักก๊าซชีวภาพจากน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบด

3. ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential, BMP) ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบด

3. วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

การวิจัยนี้ใช้วัตถุดิบจากน้ำเสียที่ได้จากการบีบซังข้าวโพด และซังข้าวโพดบด จากโรงงานซันสวีท โรงงานส่งออกข้าวโพดหวาน ในจังหวัดเชียงใหม่ ลักษณะของน้ำบีบซังข้าวโพดจะมีความเข้มข้นสูง จากคุณสมบัติทางเคมีคือมีค่า COD (Chemical Oxygen Demand) 41,600mg/Lซังข้าวโพดบด มีขนาด 3-5mm มีความชื้นประมาณ 6%หัวเชื้อที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ มูลสุกรสดผสมกับน้ำกลั่นเพื่อให้ง่ายในการตวงปริมาตร อุปกรณ์ที่ใช้ในการหมัก ได้แก่ ขวดหมักขนาด 1L ต่อกับชุดวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบหมักก๊าซชีวภาพจากน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบด ขนาด 1 ลิตร

3.2 เงื่อนไขการทดลอง

ชุดการทดลองประกอบด้วย 5 ชุด แต่ละชุดจะมีการเติมน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบด โดยมีอัตราส่วนของของแข็งรวม(Total Solid) ที่ต่างกัน คือ 8%, 10%, 12%, 14% และ 16% เติมหัวเชื้อ 15% ของปริมาตรการหมัก หมักในขวดขนาด 1 L ใช้จริง 0.8 L ระยะเวลา 30 วัน เป็นการหมักแบบกะ คือเติมสารอาหารเพียงครั้งเดียว

3.3 วิธีการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพ

วิเคราะห์พารามิเตอร์ของวัตถุดิบก่อนทำการหมัก ได้แก่ COD, TS, VS, pH และความชื้น ทำการหมักที่อัตราส่วนของของแข็งที่ต่างกัน ในขวดหมักขนาด 1 L เป็นการหมักแบบกะ (Batch) ในสภาวะอุณหภูมิห้อง ภายใต้การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ปรับ pH เป็น 7 ทุกชุดการทดลองด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน วัดปริมาณก๊าซมีเทนทุก4 วัน จากเครื่องวัดก๊าซ Gas Data GFM Series เขย่าขวดทดลองทุกวันๆ ละ 1 นาที เพื่อให้เกิดกรสัมผัสกันระหว่างสารอาหารและจุลินทรีย์ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก วิเคราะห์พารามิเตอร์อีกครั้ง

3.4วิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential, BMP)

1.การคำนวณหาปริมาณซีโอดี (COD) ที่ถูกย่อยสลาย

ซีโอดีที่ถูกกำจัด = ซีโอดี(เข้า) – ซีโอดี(ออก)

หรือ$COD_{removed}$ (mg/l) = COD_{in} (mg/l) – COD_{out}(mg/l)

2.ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD)

% การกำจัดซีโอดี = [(COD_{in} (mg/l) – COD_{out} (mg/l))/ COD_{in} (mg/l)] x 100

3.การหาค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ (Specific Methane Yield)

อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ = ปริมาณก๊าซมีทน (l) / น้ำหนักของซีโอดีที่ถูกย่อยสลาย (kg)

4.การหาศักยภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้ก๊าซมีเทน (%BMP)

%BMP = (อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์/ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี) x 100

จากทฤษฎี COD 1 kg เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน 350 l

ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554

4. อภิปรายผลการวิจัย

4.1 พารามิเตอร์ของน้ำบีบข้าวโพด ซังข้าวโพดบด และหัวเชื้อ(มูลสุกร)

การวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ

ตัวอย่าง	COD (mg/L)	TS (mg/L)	VS (mg/L)	ความชื้น (%)	pH	C/N
น้ำบีบซังข้าวโพด	41,600	11,200	6,885	-	4.68	-
ซังข้าวโพดบด	-	45,175	41,088	7.20	-	41/1
หัวเชื้อ	8,320	3,405	2,005	-	6.82	-

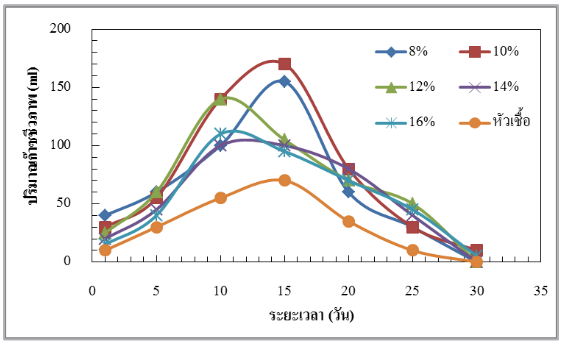
ผลของ COD ของน้ำบีบซังข้าวโพดมีค่า 41,600mg/L เป็นค่าที่สูงเมื่อเทียบกับน้ำเสียจากแหล่งอื่น เช่น น้ำเสียจากกองขยะ มีค่า COD 3,200mg/L (ตระกูลศักดิ์, 2557) เหมาะสำหรับนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ซังข้าวโพดมีค่า TS 45,175 mg/L สูงเมื่อเทียบกับเศษอาหารบดจากการทดลองของ (กิตติชัย ,2553) ที่มี TS 24,400 mg/L

4.2 ผลของ COD ก่อนและหลังการหมัก ของชุดทดลองที่มีอัตราของของแข็งรวมที่ต่างกัน

ตารางที่ 2 ผลของ COD ก่อนและหลังการหมักก๊าซชีวภาพ

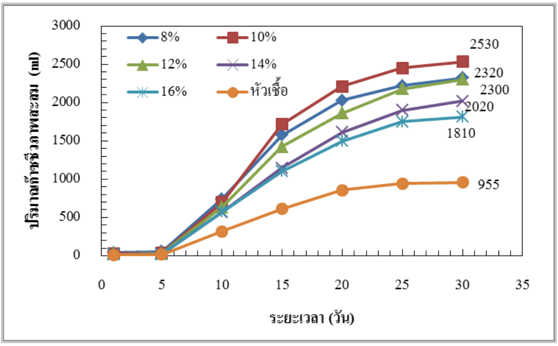
TS (%)	COD_{in} (mg/L)	COD_{out} (mg/L)	การกำจัด COD (%)	% BMP
8%	41,600	16,640	60.00	17.74
10%	41,600	13,320	67.98	20.07
12%	49,920	24,960	50.00	16.19
14%	49,920	31,660	36.58	16.34
16%	58,240	33,280	42.86	8.20

ผลของ COD หลังการหมักแสดงดังตารางที่ 2 ชุดการทดลองที่ TS10% มีอัตราการกำจัด COD ได้สูงสุด 67.98% ตามด้วยชุดทดลองที่ TS8% มีอัตราการกำจัด COD60.00%เมื่อเทียบTS 10% กับTS 14% ที่มีอัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ต่ำสุดพบว่าต่างกัน 46.00% จะเห็นว่าที่อัตราส่วนของของแข็งรวมต่างกันส่งผลให้การกำจัดCOD ต่างกัน ในชุดทดลองที่มีการกำจัดCOD สูงแสดงว่าระบบสามารถย่อสลายจุลินทรีย์ได้ดี และพบว่าที่ TS 10% มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดคือ 20.07 ต่ำสุด 8.20% เมื่อเปรียบเทียบ%BMP ของTS 10% และ 16%พบว่าต่างกันประมาณ 59.00%



รูปที่ 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

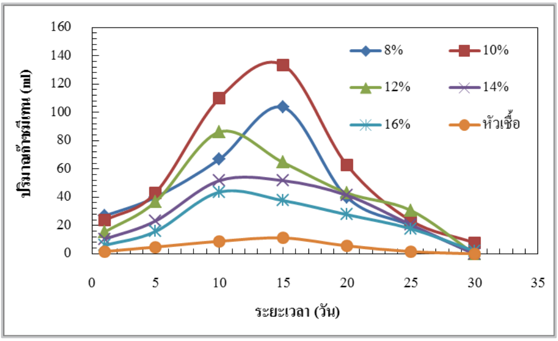
ในการหมักกาซชีวภาพจากน้ำบีบซังข้าวโพดร่วมกับซังข้าวโพดบดที่อัตราส่วนของของแข็ง 8%, 10%, 12%, 14% และ 16%พบว่าก๊าซชีวภาพเริ่มเกิดสูงขึ้นในวันที่ 8 ที่ TS10% ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด 120ml และผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด 250ml ในวันที่ 13 หลังจากวันที่ 16 ก๊าซชีวภาพมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 30 ปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงต่ำสุดถึง 10ml เทียบกับหัวเชื้อ ที่ผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด 70ml ในวันที่ 15 มีปริมาณลดลงเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 27 ไม่มีการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่ TS10% อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดในแต่ละวัน ต่างจากหัวเชื้อประมาณ 72.00% TS 10% มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดในแต่ละวันสูงกว่า TS 16% ซึ่งมีการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละวันต่ำสุด 52.00%



รูปที่ 3ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากระบบหมักก๊าซชีวภาพขนาด 1 ลิตร

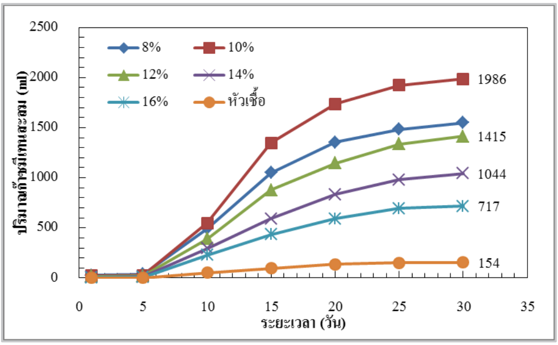
จากรูปที่ 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม พบว่าที่ TS 10% สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด 2,530 mL ผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละวันได้สูงสุดถึง 250mlเฉลี่ยต่อ

วัน 84.33 mL ตามด้วย TS 8% ผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้ 2,320 mLพบว่าTS16% ผลิตก๊าซชีวภาพรวมได้ต่ำสุด ที่ TS 10% มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูงกว่า TS16% ประมาณ 28.50%เนื่องจากTS16%มีความเข้มข้นของของแข็งที่สูง ส่งผลให้ยากต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ทำให้ก๊าซชีวภาพรวมมีปริมาณน้อยตามไปด้วย



รูปที่ 4 ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวันที่ได้จากการหมักร่วมของน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบด

ผลของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน พบว่าก๊าซมีเทนเริ่มเกิดขึ้นในวันที่ 4 โดยที่ TS10% มีการเกิดก๊าซมีเทนที่ 13.20% และเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 12 จนถึงวันที่ 16 ก๊าซมีเทนเริ่มมีปริมาณลดลง เปรียบเทียบการเกิดก๊าซมีเทนของ TS 10% กับหัวเชื้อต่างกันประมาณ 79.50% ผลของมีเทนเฉลี่ยที่ได้ แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนของของแข็งต่างกันเพียง 6% มีผลต่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ถึง 28.50%



รูปที่ 5ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม

จากปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 5 พบว่า TS 10% มีปริมาณก๊าซมีเทนรวมสูงสุดคือ 1,986 ml เนื่องจากมีปริมาณก๊าซรวมที่สูงและผลของการทดสอบปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีปริมาณสูงที่สุดคือ 78.50%และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21.4% ตามด้วยTS 8% และ12%TS 10% ต่ำสุดคือ TS 16% เกิดก๊าซมีเทน 39.6% มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 53% พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของ TS 10% สูงกว่าTS 16% ถึง 64.00% ที่อัตราส่วนของของแข็งรวม (Total Solid) ต่างกัน6% ส่งผลให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่ต่างกัน 64.00%

5. สรุป

จากการหมักก๊าซชีวภาพของน้ำบีบซังข้าวโพดร่วมกับซังข้าวโพดบดที่อัตราส่วนของของแข็ง(Total Solid) 8%, 10%, 12%, 14% และ 16% พบว่าที่อัตราส่วนของของแข็ง 10%มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดคือ 67.98%สามารถผลิตก๊าซชีวภาพรวม 2,530 ml ผลิตก๊าซมีเทนสะสมได้ 1,986mlพบว่าที่ TS 8%, 12%, 14%และ 16% ผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้ 2,320 ml, 2,300 ml, 2,020 mlและ 1,810 mlตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนของของแข็งรวมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันของน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบดคือ 10% โดยในระบบหมักที่ดี ต้องมีสัดส่วนการเติมที่เหมาะสม มีสารอาหารที่เพียงพอต่อระบบ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของระบบหมักที่ดีจะขึ้นอยู่กับปัจจัยในด้านอื่นๆ เช่น วัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก หัวเชื้อจุลินทรีย์ อุณหภูมิแวดล้อม จากการวิจัยดังกล่าวพบว่าน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดเหมาะสำหรับการนำมาหมักก๊าซชีวภาพเพื่อลดปัญหาการกำจัดของเสียภายในโรงงาน เป็นการส่งเสริมการสร้างแหล่งพลังงานใช้ภายในโรงงานและชุมชน

ข้อเสนอแนะ ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำบีบซังข้าวโพดและซังข้าวโพดบด ในน้ำบีบซังข้าวโพดมีปริมาณของ pH ที่สูง หากทำการหมักก๊าซชีวภาพจากวัตถุชนิดนี้ ควรทำการปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.8-7.2 เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการหมักก๊าซชีวภาพสูงสุด

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มอบทุนการศึกษาวิจัยในโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบคุณอาจารย์วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้คำแนะนำ สนับสนุนอุปกรณ์และเอื้อเฟื้อสถานที่การวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.(2558). **หลักสูตรด้านการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบต่างๆ**. (หน้า10-11). กรุงเทพ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). คู่มือการปฏิบัติงาน **เกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม**. (หน้า2-1). กรุงเทพ: สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัยกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2548). **โครงการศึกษาการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในรูปแบบการหมักย่อยร่วมโดยถังปฏิกรณ์ UASB และ CSTR เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ**. เชียงใหม่

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2554. **BMP**. เอกสารการวิเคราะห์หาค่า BMP

ตระกูลศักดิ์ เสนานิคม. (2557). **การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกองขยะ**. โครงการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15:499.

กิตติชัย ปัญญารมย์.**ผลของขนาดอนุภาคต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารอินทรีย์**. บทความวิจัยของคุรุวิจัย รุ่นที่ 5. ศูนย์คุรุวิจัยพลังงาน. 2553.

การผลิตแก๊สชีวภาพจากกากปาล์มน้ำมันร่วมกับมูลสุกร

Biogas Production from Palm Oil Residues Mixing with Pig's Manure

สุรจิตร์ พระเมือง[1*] จิรารัตน์ มะณีทับ[2] และอภิชิต พลค้อ[2]

Surajitr Pramuang[1*] Jirarat Maneetap[2] and Apichit Ponkho[2]

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย234 ถนนเลย-เชียงคาน ตำบลเมือง อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000อีเมล์ surajitr@lru.ac.th โทร. 042835223 – 8 ต่อ45109 โทรสาร 042835238

[2] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย234 ถนนเลย-เชียงคาน ตำบลเมือง อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

บทคัดย่อ

กากปาล์มน้ำมันที่เหลือจากการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ ได้นำมาศึกษาในการผลิตแก๊สชีวภาพโดยการหมักร่วมกับมูลสุกรในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยใช้ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250mLเป็นถังหมักภายใต้ห้องอุณหภูมิห้อง (25±3 °C)อัตราส่วนระหว่างมูลสุกรและกากปาล์มเป็น 9:1 8:2 7:3 6:4 5 5 4:6 3:7 2:8 และ 1:9 ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาในการหมักนาน 20 วัน ทำการทดลอง 2 ครั้ง วัดค่าความเป็นกรดด่างอุณหภูมิภายในถังหมักและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมทุกๆ วัน ในช่วงเวลา 09.00 น. และ 17.00 น. วัดค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมีทั้งก่อนและหลังการหมัก วัดความสูงของแก๊สชีวภาพในหลอดทดลองจากการแทนที่น้ำ แล้วนำมาคำนวณหาค่าปริมาณแก๊สสะสมและปริมาณแก๊สเฉลี่ยต่อวัน พบว่าอัตราส่วนของมูลสุกรต่อกากปาล์ม 9 ต่อ 1 เกิดแก๊สเฉลี่ยต่อวันมากที่สุด เท่ากับ 21 mLแต่ระยะเวลาการเกิดแก๊สสั้น เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สสะสมและความยาวนานของการเกิดแก๊สพบว่า อัตราส่วน 7 ต่อ 3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการผลิตแก๊สชีวภาพจากกากปาล์มน้ำมัน เพื่อเป็นเชื้อเพลิงความร้อนสำหรับอบผลปาล์มน้ำมันของผู้ประกอบการขนาดเล็ก

Abstract

Palm oil's residue from CPO process was investigated in the laboratory scale for biogas producing by mixing to pig's manure, and determined the optimum ratio of the biogas production. The fermentation used flasks volume of 250mL for fermentation reactors in room temperature of 25 ± 3°C with the ratios of pig's manure to palm residue including 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 and 1:9 respectively. The experiments performed 20 days for each round of 2 experiments. Data acquisitions were done at 09.00 am and 17.00 pm. The measurements of pH, fermented temperature, ambient temperature were done, while biogas volume was measured the height using the water replacementto calculate the gas obtained per day and the gas cumulative due to the chemical oxygen demand at initial and final measurements. The result showed that the ratio of 9:1 obtained the maximum biogas per day by 21 mL. Even if, considering to the biogas cumulative and production duration, the ratio of 7:3 was appropriate ratio. This study is a guideline for producing biogas fuel from palm oil residue to palm fruits drying of the small entrepreneur.

คำสำคัญ : แก๊สชีวภาพ กากปาล์มน้ำมัน มูลสุกร

Keywords : Biogas Palmoil's residues Pig's manure

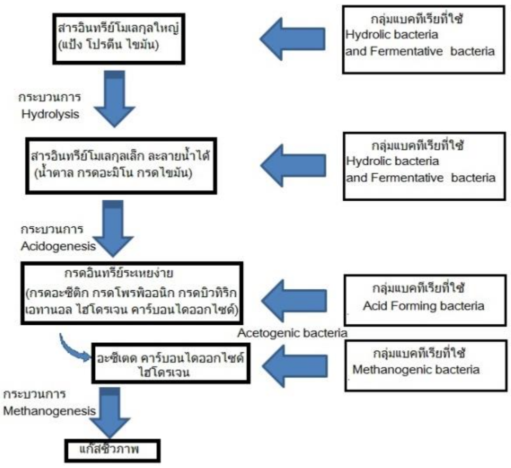
1. บทนำ

สถานการณ์โลกปัจจุบัน กำลังเผชิญกับปัญหาหลายด้านทั้งทรัพยากรธรรมชาติ ที่มีปริมาณน้อยลงสวนทางกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะพลังงานฟอสซิล และปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากของเสียจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ กระบวนการเผาไหม้จะทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการสะสมความร้อนทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน ซึ่งมีการแก้ปัญหาโดยการใช้พลังงานทดแทน มากขึ้นทั้ง แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และความร้อนใต้พิภพ โดยการใช้พลังงานทดแทนต่าง ๆ จะต้องอาศัยเทคโนโลยีหรือนวัตกรรม ในการรวบรวม แปรสภาพหรือส่งผ่านพลังงานไปใช้ในรูปต่าง ๆ แก๊สชีวภาพเป็นแก๊สที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (anaerobic digestion) ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ จะมีกากปาล์มเป็นวัสดุที่เป็นผลพลอยได้ ส่วนใหญ่ถูกนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ หากนำกากปาล์มมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งผลปาล์ม จะช่วยให้ผู้ประกอบการขนาดเล็กมีทางเลือกในการใช้เชื้อเพลิงสำหรับอบแห้งผลปาล์มน้ำมันที่เป็นปัญหาหลักของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบและช่วยลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากน้ำทิ้งของการนึ่งปาล์มน้ำมัน ซึ่งจิตติชัย จันทรทิน (2550)ได้ออกแบบและวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมของฐานรองตู้นึ่งปาล์มขนาดเล็กแบบกึ่งต่อเนื่องสำหรับนึ่งปาล์มขนาด 1 ตันเพื่อลดต้นทุนในการสร้างระบบโรงสกัดน้ำมันปาล์มของชุมชน ในการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากกากปาล์มผสมกับมูลสุกรในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณแก๊สชีวภาพเพียงพอในการเป็นเชื้อเพลิงของระบบอบแห้งผลปาล์ม

2. กระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพ เป็นแก๊สผสมของแก๊สมีเทน กับแก๊สอื่น ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนซัลไฟด์ ไฮโดรเจน ไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ด้วยแบคทีเรียชนิดไม่อาศัยออกซิเจน (Anaerobicbacteria) โดยทั่วไปสัดส่วนของแก๊สต่าง ๆ จะเป็น มีเทน (CH_4)50% - 70% คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30% -40% ไฮโดรเจน (H_2)5% -7%ไนโตรเจน (N_2) 1% -2% ไอน้ำ (H_2O) 0.3% ไฮโดรเจนซัลไฟต์หรือแก๊สไข่เน่า (H_2S)เล็กน้อย (ชยันต์ กิมยงค์, 2545)

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เกิดแก๊สชีวภาพจะอาศัยจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นกลุ่มผลิตกรดทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์จำพวก แป้ง โปรตีน และไขมัน จากโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จนกระทั่งได้โมเลกุลขนาดเล็กที่เป็นกรดอินทรีย์ จากนั้นจุลินทรีย์กลุ่มที่สอง ซึ่งเป็นกลุ่มผลิตมีเทนจะทำหน้าที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์ให้กลายเป็นแก๊สมีเทนกระบวนการผลิตแก๊สมีเทน โดยมีกระบวนการผลิต 3 ขั้นตอนเรียงตามลำดับคือกระบวนการไฮโดรไลซีส (Hydrolysis) กระบวนการอะซิโดเจนนีซีส (Acidogenesis) และกระบวนการเมธทาโนเจนนีซีส (Methanogenesis) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรย์ในการผลิตแก๊สชีวภาพ

ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่างๆที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพได้แก่ (ปราโมทย์ ศิริโรจย์, 2551)

1)อุณหภูมิ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีผลิตมีเทน ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ ไซโครฟิลิก (Psychrophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C มีโซฟิลิก (Mesophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-45 °C และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 45 °C

2)ความเป็นกรด-เบส ความเหมาะสมของค่าความเป็นกรด-เบส ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ผลิตมีเทน pH อยู่ระหว่าง 6.6-7.4

3)ความเป็นด่าง เป็นบัฟเฟอร์ของระบบที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-เบส การมีค่าความเป็นด่างสูง หรือค่าอัลคาไลน์สูง (Alkalinity) แสดงถึงความสามารถในการรักษาเสถียรภาพของความเป็นกรด-เบสในถังหมักอยู่ได้นาน ซึ่งควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 1,000 mg$CaCO_3$/L

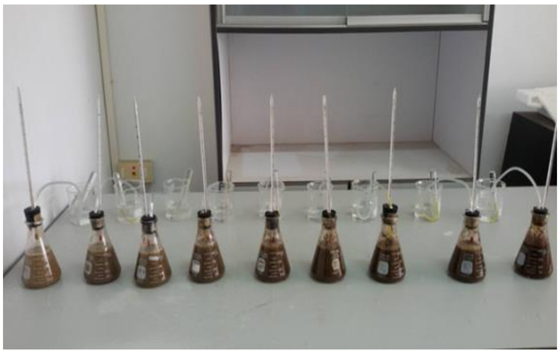
4)ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ผลผลิตของการย่อยสลายสารอะซิโดเจนีซีด ที่เปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กให้เป็นกรดอะซิติก กรดโพพิออนิก และกรดบิวทีริก ทำให้ความปืนกรด-เบสของระบบเพิ่มขึ้น ถ้าค่า pH ลดต่ำลงถึง 4.5-5.0 จะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน ทำให้ระบบผลิตแก๊สชีวภาพล้มเหลวได้ ดังนั้น ค่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย จึงไม่ควรเกิน 2,000 mg ของกรดอะซิติก/ลิตร หรือสัดส่วนต่อค่าความเป็นกรด-เบส ไม่ควรเกิน 0.3-0.4

5)ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) ค่าซีโอดี เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ระบบหมัก โดยถ้ามีอัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ถังหมักสูงเกินไป ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรดทำงานมาก จะทำให้มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีปริมาณมาก และสภาพความเป็นกรดของระบบจะเพิ่มขึ้น

6)สารพิษ เป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกกลุ่ม เช่น พิษของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อจุลินทรีย์ผลิตมีเทน พิษของแอมโมเนียมอิออน พิษของโลหะหนักบางชนิด แต่โลหะหนักบางชนิดในปริมาณที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ จัดเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เช่น นิเกิล ไม่เกิน 2mg/L ทองแดง ไม่เกิน 1mg/L สังกะสี ไม่เกิน 5mg/L เป็นต้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การทำวิจัยได้ทำการหมักในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ขวดชมพู่ขนาด 250 mLจำนวน 9 ใบ เป็นถังหมัก (แสดงในรูปที่ 2) ใช้อัตราส่วนของกากปาล์มน้ำมันกับมูลสุกร ระหว่าง 1:9 ถึง 9:1หรือ อัตราส่วนของกากปาล์มน้ำมันเป็น 0.1 – 0.9 ตามลำดับ ขวดรูปชมพู่ปิดด้วยจุกยาง 2 รู เพื่อเสียบเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิในขวดและต่อสายยางเพื่อนำแก๊สเข้ากับหลอดทดลองขนาด 15mLวางคว่ำอยู่ในบิกเกอร์100 mLเพื่อเป็นระบบเก็บกักแก๊สด้วยการแทนที่น้ำ วัดค่าความเป็นกรดด่างโดยใช้เครื่องมือ pH meter หาค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี(COD) ของแต่ละอัตราส่วนทั้งก่อนและหลังการทดลองโดยใช้วิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux) เก็บข้อมูลวันละ2 ครั้ง ในเวลา 9.00 น. และ 17.00 น.นาน20 วัน โดยทำการทดลองจำนวน2 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้จากการวัดมาหาค่าเฉลี่ย

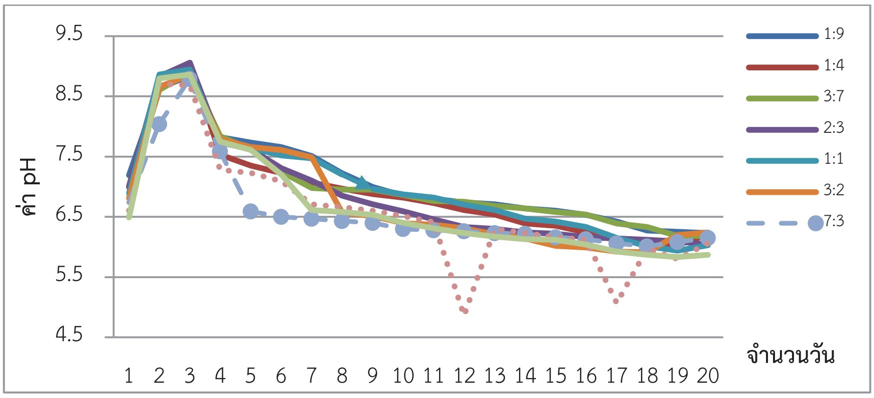


รูปที่ 2 การทดลองหมักแก๊สชีวภาพ 9 อัตราส่วนด้วยขวดรูปชมพู่

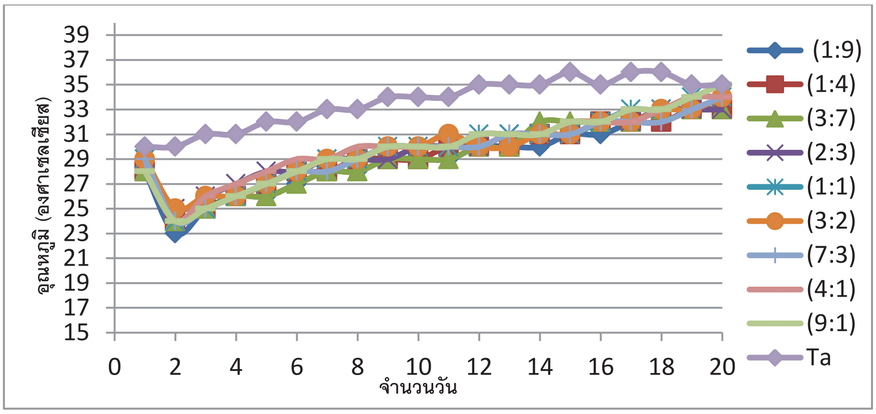
4. ผลการวิจัย

ค่า pH จะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5.86-9.06 ซึ่งใน 4 วันแรกจะมีการเปลี่ยนแปลงมาก แล้วค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ไปจนวันที่ 20 ของการทดลองแต่ละอัตราส่วนมีค่าการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 3 ส่วนค่าอุณหภูมิภายในขวดชมพู่ มีค่าระหว่าง 23 °C – 33°C แปรผันตามสภาพภูมิอากาศโดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าระหว่าง 31°C – 36 °C โดยอุณหภูมิในขวดชมพู่จะต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 4

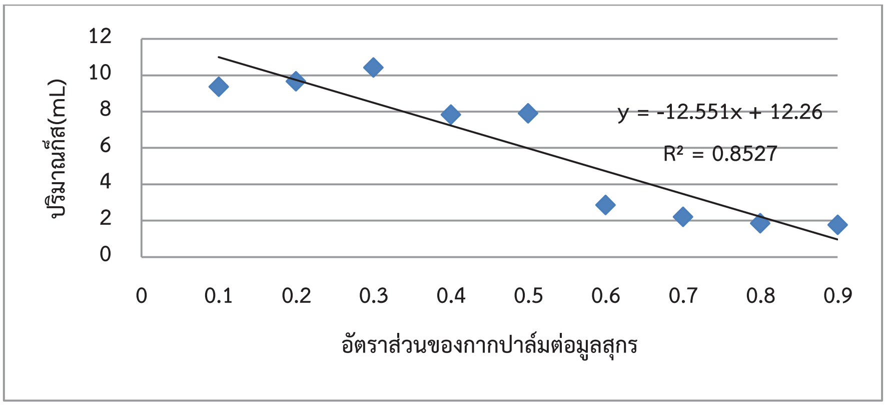
ปริมาณแก๊สชีวภาพจากกากปาล์มน้ำมัน ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดที่ผลิตได้ในแต่ละวัน กับปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม ของแต่ละอัตราส่วน ซึ่งผลการวัดค่าปริมาณแก๊สสูงสุด มีค่าสูงสุด 10.42 mLของอัตราส่วน 0.3 และเมื่อวิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดกับอัตราส่วนกากปาล์มน้ำมัน จะพบว่า เมื่อสัดส่วนของกากปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดที่ผลิตได้ต่อวัน จะลดลง ทำให้อัตราส่วน 0.9 มีปริมาณแก๊สต่ำสุดเท่ากับ1.76 mL ดังแสดงในรูปที่ 5ทำให้ได้สมการเชิงเส้นเป็น $y = -12.55x + 12.26$ ($R^2 = 0.85$) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุด กับความยาวนานของการเกิดแก๊สชีวภาพ อัตราส่วนที่มีกากปาล์มน้ำมันสูงจะมีระยะเวลาในการเกิดแก๊สชีวภาพได้นานกว่าอัตราส่วนที่มีกากปาล์มน้ำมันน้อย ๆ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณแก๊สชีวภาพก็ยังมีปริมาณไม่สูง จึงทำให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมมีค่าน้อย ดังแสดงในรูปที่ 6ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนของกากปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมจะลดลง ทำให้ได้สมการเชิงเส้นเป็น $y = -23.48x + 22.78$ ($R^2 = 0.80$)



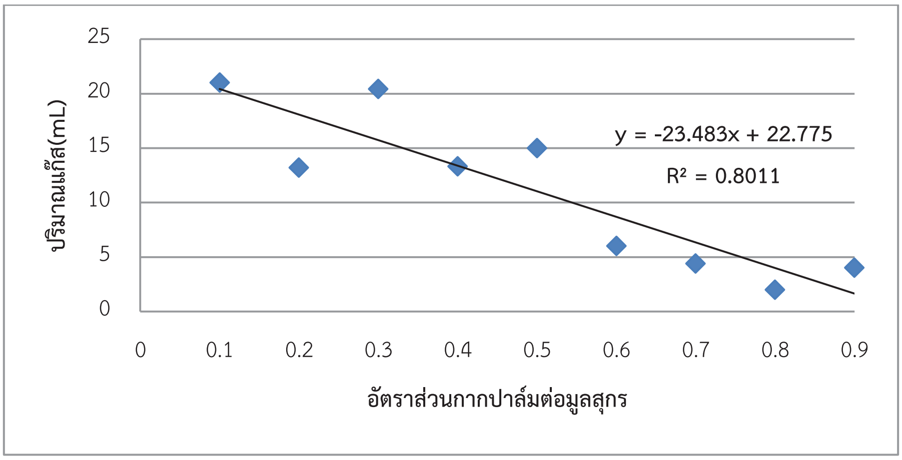
รูปที่ 3 ค่า pH เฉลี่ยในแต่ละวันของการหมักแก๊สชีวภาพ อัตราส่วนระหว่างปาล์มน้ำมันกับมูลสุกร 0.1 – 0.9



รูปที่ 4 อุณหภูมิของการหมักแก๊สชีวภาพ อัตราส่วนระหว่างปาล์มน้ำมันกับมูลสุกร 0.1 – 0.9



รูปที่ 5ค่าปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดต่อวันของอัตราส่วนระหว่างกากปาล์มกับมูลสุกร0. 1 – 0.9



รูปที่ 5 ค่าปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุดของอัตราส่วนระหว่างกากปาล์มกับมูลสุกร0. 1 – 0.9 ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม จะแปรผันตามปริมาณจำนวนวันที่เกิดแก๊ส และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD)โดยอัตราส่วนของกากปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีเฉลี่ยก่อนการหมักแก๊ส เท่ากับ 2023.11 mg/L และหลังการหมักเท่ากับ 1404.44 mg/L โดยมีส่วนต่างเฉลี่ย 529.78 mg/L เมื่อผลต่างของ COD จะลดลง การเกิดแก๊สชีวภาพก็ลดลง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1แสดงผลการวิเคราะห์ค่า COD ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม และจำนวนวันที่เกิดแก๊สชีวภาพ

อัตราส่วนกากปาล์มและมูลสุกร (g:g)	ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) mg/L			ปริมาณแก๊สสะสม (mL)	จำนวนวันที่เกิดแก๊ส
	ก่อน	หลัง	ส่วนต่าง		
1:9	2464	1760	704	21	13
1:4	2336	1696	640	13.2	14
3:7	2208	1600	608	20.4	15
2:3	2144	1568	576	13.3	17
1:1	2016	1472	544	15	13
3:2	1888	1376	512	6	9
7:3	1824	1312	512	4.4	3
4:1	1696	1248	448	2	4
9:1	1632	1184	448	4	2

5. สรุปผลการวิจัย

การหมักแก๊สชีวภาพจากการปาล์มน้ำมันกับมูลสุกรในห้องปฏิบัติการ วัดค่าความเป็นกรดเบสพบว่า จะค่อย ๆลดลง หลังจากผ่านไป 3 วัน จนสุดท้ายที่ไม่มีการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยมีค่า pH ระหว่าง 5.36 – 9.06 ปริมาณแก๊สชีวภาพจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 8–10 วันจะลดลงจนหมดภายในเวลา 16–18 วันขึ้นอยู่กับอัตราผสมของกากปาล์มน้ำมันกับมูลสุกร โดยที่อัตราส่วนของกากปาล์มน้ำมันต่ำ ๆ จะมีปริมาณแก๊สชีวภาพมากกว่ากว่าอัตราส่วนที่มีกากปาล์มน้ำมันสูง ๆ ซึ่งค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีแปรผันตรงกับอัตราส่วนของมูลสุกรที่เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมที่ได้จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมของมูลสุกร โดยอัตราส่วนที่มีมูลสุกรมากจะทำให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมมากแต่ระยะเวลาในการเกิดแก๊สจะสั้น นอกจากนี้อัตราส่วนของกากปาล์มที่น้อยกว่าจะเกิดแก๊สเร็วกว่าอัตราส่วนที่มีกากปาล์มมากเช่นเดียวกันกับปริมาณแก๊สชีวภาพเฉลี่ยต่อวัน เมื่ออัตราส่วนของมูลสุกรมากปริมาณแก๊สชีวภาพจะเกิดขึ้นมาก เมื่อค่า pH น้อยลงส่งผลต่อปริมาณแก๊สที่เพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ค่า pH ต้องไม่น้อยกว่า 5 เพราะจะเป็นกรดมากทำให้จุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนไม่ทำงาน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม และความยาวนานของการเกิดแก๊สชีวภาพจะสรุปได้ว่า อัตราส่วนของกากปาล์มน้ำมันกับมูลสุกรที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้แก่อัตราส่วน 7 : 3 โดยสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ใน 2–3 วันแรกของการหมักและเกิดต่อเนื่องนาน 14–16 วัน ได้ปริมาณแก๊สสะสมเฉลี่ย 20.4 mL

6. เอกสารอ้างอิง

จิตติชัย จันทรทิน (2550)การออกแบบและวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมของฐานรองตู้นึ่งปาล์มขนาดเล็กแบบกึ่งต่อเนื่องรายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม : กรุงเทพ, 30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2550,หน้า 538 – 546.

ชยันต์ กิมยงค์ (2545). **โครงการการพัฒนาการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสุกร**.รายงานการวิจัย. (ออนไลน์).เข้าถึงได้จาก:http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2545/ KMUTT-chayan.htmL.(สืบค้นวันที่ 17/03/2559)

ปราโมทย์ ศิริโรจย์ (2551) การผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารนิทรรศการนวัตกรรมงานวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ปี 2551(ออนไลน์)เข้าถึงได้จาก http://www.ku.ac.th/emagazine/oct51/agri/agri4.htm (สืบค้นวันที่17/03/2558)

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

The Study on Biogas Quality Upgradingfor SmallScale Power Plant

วุฒิศาสตร์ โชคเกื้อ[1*],วิญญาดุงแก้ว[2], คงวิทย์ ประสิทธิ์นอก[3] และศาตตรา ศิริแก้ว[1]

WutthisatChokkuea[1*],Winya Dungkaew[2], Khongvit Prasitnok[3]and Sattra Sirikaew[1]

[1]หน่วยวิจัยพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[2]หน่วยวิจัยเคมีอนินทรีย์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[3]หน่วยวิจัยเคมีเชิงฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[1]Energy Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakham44150

[2]Inorganic Chemistry Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakham44150

[3]Physical Chemistry Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakham44150

[*]E-mail : wutthisat.c@msu.ac.th, โทร 0-4375-4322 ต่อ 1118, โทรสาร 0-4375-4379

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อเพิ่มคุณภาพก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการสันดาปของเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยก๊าซชีวภาพได้จากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลสุกรที่มีขนาดบ่อหมัก 200 m^3ฟาร์มของนายสุบันสีทำมาโครงการส่งเสริมการเลี้ยงสุกรขุน (ฝากเลี้ยง) บริษัทซีพีเอฟจำกัดอ.กันทรวิชัยจ.มหาสารคามซึ่งงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้วิธีการดักจับด้วยการตกตะกอนและการใช้ตัวดูดซับเพื่อปรับปรุงก๊าซชีวภาพแล้วนำมาใช้ในเครื่องยนต์เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ในการผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังผลิตสูงสุด 2,000 W โดยมีการดัดแปลงเฉพาะฝาครอบกรองอากาศเพื่อใช้กับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้หลอดไฟประเภทหลอดไส้เป็นภาระโหลด จากการวิจัยพบว่าองค์ประกอบของก๊าซก่อนปรับปรุงมี CH_4และ CO_2เป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณ 58.96% และ 27.72% โดยปริมาตรตามลำดับเมื่อผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซส่งผลให้มีปริมาณ CH_4เพิ่มขึ้นเป็น 69.83% และปริมาณ CO_2ลดลงเหลือ 12.13%โดยปริมาตรเมื่อนำก๊าซที่ได้ใช้กับเครื่องยนต์ดัดแปลงพบว่าเครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องได้ปกติในช่วงการผลิตไฟฟ้าไม่เกิน 1,600 W โดยมีความต้องการปริมาณเชื้อเพลิงแปรผันตรงตามความต้องการก๊าซเริ่มต้น 0.000662 m^3/s ผลจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้พบว่าเมื่อภาระโหลด(X) เพิ่มขึ้นจาก0–1,600 Wปริมาณก๊าซชีวภาพ(Y)ที่ใช้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังสมการ$Y = (3x10^{-7})X + 7x10^{-3}$โดยสมการถดถอยดังกล่าวสามารถอธิบายความผันแปรของ Y ได้ 89% (R^2=0.89)

Abstract

This study aims at improving quality of biogas and to enhance gas quality using for engine fuel to produce electricity using biogas produced from non-oxygen fermentation process, the size of fermented pig waste pond is 200 m^3, itbelongs to Mr.Suban who joins the Pig Farm Promotional Project (Entrusted Project), CPF Company, Kantrawichai province, Mahasarakham province. The project has applied the technique of sedimentation filer and using the absorbed to improve the quality of the biomass before testing with the engine to order to test the capacity of the engine in producing electricity with maximum production of 2,000 Watts. However, the research has changed just the air-filter mask to make it fits with biomass fuel. By using the bulb lamp for testing, the research reveals that the combination of gas before the improvement composed of CH_4 and CO_2 are the major components between 58.96% and 27.72% according the quantity sequentially. However, the improvement process has increased the number of CH_4 to 69.83% and the number of CO_2 has dropped down to 12.13%. Using the improved biomass with the adapted engine, it has revealed that the engine works smoothly during the production of electricity not to be exceeded 1,600 W, the engine consumes the fuel in relation with the production load starting from 0.000662 m^3/s. Result from the relationship between electricity capacity with the volume of biomass fuel, it has been found out that the loaded capacity (x) has increased from 0-1,600 Watts, the volume of the biomass (Y) has also increased in parallel as shown in the equation $Y = (3x10^{-7})X + 7x10^{-3}$, however, the backward equation can explain the volatile of Y equals to 89% (R^2=0.89)

คำสำคัญ:กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน, การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ, การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

Keyword: Anaerobic fermentation, Biogas upgrading, Using biogas in the gasoline engine

1. บทนำ

ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยองค์ประกอบของCH_4และ CO_2 เป็นส่วนใหญ่ แต่อาจมีN_2, H_2และH_2S เจือปนเล็กน้อย ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและสภาวะของกระบวนการหมัก [1]การนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานนั้นหากใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน (เตาแก๊สประยุกต์) ก็สามารถใช้ก๊าซชีวภาพจากถังหมักหรือบ่อหมักได้โดยตรง แต่หากต้องการใช้เป็นเชื้อเพลิงในการสันดาปของเครื่องยนต์ (gas engine) จำเป็นอย่างยิ่งต้องทำให้ก๊าซชีวภาพมีความบริสุทธิ์สูง คือมีCH_4 ในร้อยละที่สูง รวมทั้งมีการเจือปนของน้ำ (H_2O) และก๊าซอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งCO_2และH_2S ในปริมาณที่ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากCO_2เป็นก๊าซที่ให้พลังงานจากการสันดาปต่ำ การเจือปนของCO_2ในปริมาณสูงจะทำให้การเผาไหม้ที่ไม่เสถียรและเกิดการน็อคของเครื่องยนต์ได้ ขณะที่H_2Sมีฤทธิ์กัดกร่อน สามารถสร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบการเผาไหม้ ส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นลง ดังนั้นการทำก๊าซชีวภาพให้มีความบริสุทธิ์สูงก่อนใช้จึงจำเป็นอย่างยิ่งหากต้องการใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการสันดาปของเครื่องยนต์ การทำให้คุณภาพเชื้อเพลิงของก๊าซชีวภาพเต็มประสิทธิภาพนี้เรียกว่า การเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพ (biogas upgrading) โดยหลักการคือแยกก๊าซเจือปนต่างๆ ออกให้องค์ประกอบของก๊าซที่ผ่านกระบวนการใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติที่สุด

เทคโนโลยีเพื่อการเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพ (biogas upgrading technology) ที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมมีหลากหลายวิธีการตั้งแต่วิธีการที่ไม่ซับซ้อนอย่างการดักจับด้วยน้ำ (water scrubber) การดูดซับภายใต้แรงดันสูง (pressure swing adsorption) การใช้เยื่อกรอง (membrane) จนถึงวิธีที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงอย่างการควบแน่นด้วยความเย็น (cryogenic condensation)[2-5]อย่างไรก็ตามแต่ละวิธีก็มีข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน จึงไม่มีข้อกำหนดที่แน่นอนสำหรับการเลือกใช้เทคโนโลยีเพื่อการเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพหากต้องพิจารณาจากความเหมาะสมตามองค์ประกอบของก๊าซ ขนาดการผลิต ต้นทุน และระบบสนับสนุนที่มีอยู่เป็นหลัก อย่างไรก็ตามวิธีการที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมล้วนใช้ต้นทุนและพลังงานในการดำเนินการสูงเพราะเป็นระบบขนาดใหญ่ต้องจัดการกับก๊าซในปริมาณมาก จึงไม่เหมาะกับการใช้งานสำหรับบ่อก๊าซขนาดเล็ก

มีรายงานการศึกษาการกำจัดH_2S ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในชุมชน[6]พบว่าการใช้ทรายผสมปูนซีเมนต์เทาสามารถลด H_2Sได้ดีกว่าดินเบาผสมปูนซีเมนต์เทาและการใช้ฝอยเหล็ก กล่าวคือ ลดได้ 99.3-97.3, 78.0-74.0และ 69.4-49.9%ตามลำดับ ($P<0.01$)เมื่อนำตัวกลางทรายละเอียดผสมปูนซีเมนต์เทาบรรจุลงในท่อ PVCมีความยาว 50, 75และ 100ซม. พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามความยาวของท่อ คือ ลด H_2Sจาก 2,400 ppmเป็น 0ในวันแรก และ 3 ppmหลังใช้งานนาน 30 วัน โดยตัวดูดซับจะเปลี่ยนจากน้ำตาลแดงเป็นสีน้ำตาลเข้ม นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการพัฒนากระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในยานพาหนะ[7]โดยศึกษาและพัฒนากระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยการดูดซับCO_2 ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความร้อนและค่าดัชนีวอบบีของก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น โดยทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ของกระบวนการดูดซับสลับความดันที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับCO_2จากการทดลองพบว่า 1) แบบเบดนิ่งทราบว่าค่าความดัน อุณหภูมิและปริมาณตัวดูดซับมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับที่กำหนด โดยที่ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำการดูดซับจะเกิดได้ดีตลอดจนปริมาณตัวดูดซับที่มากกว่ายังสามารถดูดซับได้ดีกว่าด้วย โดยตัวดูดซับ zeolite13X มีความสามารถในการดูดซับCO_2ได้ดีกว่าถ่านดูดซับชนิดต่างๆ 2) แบบระบบดูดซับสลับความดันซึ่งศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับที่สภาวะความดัน 7bar และควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 4 $^{\circ}$Cพบว่าตัวดูดซับzeolite13Xและถ่านดูดซับ CGC12 สามารถเพิ่มสัดส่วนของCH_4 จากร้อยละ 70 เป็นร้อยละ 96 และร้อยละ 85 ได้ตามลำดับ 3)

สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงแสดงให้เห็นว่าแม้เครื่องยนต์จะมีประสิทธิภาพลดลง แต่ก๊าซชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วมีมาตรฐานสามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้วิธีการดักจับด้วยการตกตะกอนและการใช้ตัวดูดซับเพื่อการเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นสำหรับการใช้งานกับบ่อก๊าซขนาดเล็กโดยการกำจัดก๊าซเจือปน คือ CO_2, H_2S และH_2Oทั้งนี้เพื่อนำก๊าซที่ได้ไปใช้ในการสันดาปด้วยเครื่องยนต์เนื่องจากฟาร์มเกษตรกรส่วนใหญ่อยู่ห่างจากระบบสายส่งไฟฟ้าเมื่อต้องการใช้ไฟฟ้าจำเป็นต้องเดินเครื่องปั่นไฟซึ่งใช้น้ำมันเชื้อเพลิง หากนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ผ่านกระบวนการเพิ่มคุณภาพก๊าซมาทดแทนเชื้อเพลิงดังกล่าวสามารถลดค่าใช้จ่ายในฟาร์มเกษตรกรและเป็นการลดภาวะโลกร้อนได้อีกประการหนึ่ง

2. วัตถุประสงค์

2.1เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพให้เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

2.2เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากก๊าซชีวภาพ

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมัก (anaerobic fermentation) จะมีองค์ประกอบไม่คงที่ แตกต่างกันตามวัสดุต้นกำเนิด (raw material) สภาวะการหมัก (condition) และลักษณะถังหมัก (reactor) หรือบ่อหมัก (pond) โดยองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพดิบ[1]

องค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย
CH_4	50-80	ร้อยละโดยปริมาตร
CO_2	20-50	ร้อยละโดยปริมาตร
N_2	1-4	ร้อยละโดยปริมาตร
O_2	<1	ร้อยละโดยปริมาตร
H_2S	50-5000	หนึ่งในล้านส่วน (ppm)
H_2O	2-5	ร้อยละโดยปริมาตร

การนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์นั้นจำเป็นต้องมีการจัดการกับก๊าซที่เกิดขึ้นก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ระบบการจัดการดังกล่าวเริ่มจากการรวบรวมก๊าซชีวภาพ (gas handling) การเก็บก๊าซชีวภาพ (gas storage) การทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ (gas purification) และการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ (gas utilization)

3.2การปรับปรุงก๊าซชีวภาพ

การปรับปรุงก๊าซชีวภาพเป็นการเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ บ่อก๊าซขนาดเล็กนั้นต้องการเทคโนโลยีที่ง่ายต้นทุนในการดำเนินการต่ำ ไม่ต้องการระบบสนับสนุนที่ซับซ้อน วิธีการปรับปรุงก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมและสามารถประยุกต์สำหรับบ่อก๊าซขนาดเล็กที่มีปริมาณก๊าซต่อวันไม่มากได้แก่วิธีการดักจับด้วยการตกตะกอน (chemical precipitation) และการใช้ตัวดูดซับ (adsorbent) โดยCO_2สามารถตกตะกอนโดยตรงกับเบสหลายชนิด เช่น $Ca(OH)_2$และ CaOหรือเกิดสารประกอบคาร์บอเนตกับ KOH และNaOHแล้วนำไปตกตะกอนต่อกับ $Ca(OH)_2$ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบคาร์บอเนตซึ่งมีค่าการละลายน้ำที่ต่ำ ดังแสดงในสมการ (1)-(6) สามารถแยกออกจากสารละลายได้ง่าย ขณะที่ CH_4 ไม่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว[8-13]

$$CaO\,(aq) + CO_2\,(g) \rightarrow CaCO_3\,(s) \quad (1)$$

$$Ca(OH)_2\,(aq) + CO_2\,(g) \rightarrow CaCO_3\,(s) + H_2O\,(l) \quad (2)$$

$$KOH\,(aq) + CO_2\,(g) \rightarrow K_2CO_3\,(aq) + H_2O\,(l) \quad (3)$$

$$NaOH\,(aq) + CO_2\,(g) \rightarrow Na_2CO_3\,(aq) + H_2O\,(l) \quad (4)$$

$$Ca(OH)_2\,(aq) + K_2CO_3\,(aq) \rightarrow CaCO_3\,(s) + KOH\,(aq) \quad (5)$$

$$Ca(OH)_2\,(aq) + Na_2CO_3\,(aq) \rightarrow CaCO_3\,(s) + NaOH\,(aq) \quad (6)$$

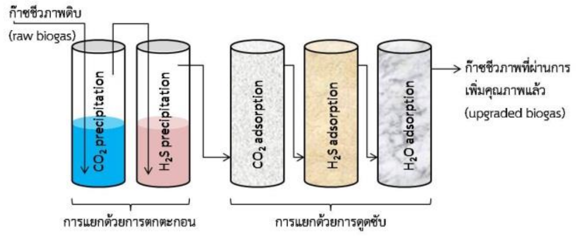
สำหรับH_2S สามารถตกตะกอนกับไอออน Fe^{2+} หรือ Fe^{3+}เช่นสารประกอบ $FeCl_2$, $FeSO_4$, หรือ Fe_2O_3ได้สารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อยเช่นกัน ดังแสดงในสมการ (7)-(9)[14]

$FeCl_2 (aq) + H_2S (g) \rightarrow FeS (s) + HCl (aq)$ (7)

$Fe(SO_4) (aq) + H_2S (g) \rightarrow FeS (s) + H_2SO_4 (aq)$ (8)

$Fe_2O_3 (aq) + H_2S (g) \rightarrow Fe_2S_3 (s) + H_2O (l)$ (9)

การใช้ตัวดูดซับนั้นได้มีรายงานการนำมาประยุกต์ใช้กับการเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพได้เช่นกัน เช่น การดูดซับ CO_2 ด้วย pillared clay[15] mesoporous carbon[16] และzeolite[5],[17-18] ขณะที่ H_2S สามารถดูดซับได้ด้วย activated carbon[5],[14] modified FeO[14],[19] สำหรับน้ำสามารถดูดซับได้ด้วยซิลิกาเจลถ่านกัมมันต์ หรือพวก molecular sieve ต่างๆ[1] แผนผังแสดงเทคโนโลยีเพื่อการเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1แผนผังแสดงเทคโนโลยีเพื่อการเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพที่จะประยุกต์ขึ้นในงานวิจัยนี้

3.3การใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

การนำเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพมาต่อกำลังเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังขับหมุน สามารถทำได้ 2 รูปแบบ ซึ่งมีความแตกต่างกัน ดังนี้

3.3.1 ใช้ไดนาโม (generator) ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้า วิธีนี้จะต้องมีอุปกรณ์หรือวงจรควบคุมความเร็วรอบในการทำงานให้คงที่ ทั้งนี้เพื่อให้แรงดันและความถี่ทางไฟฟ้าที่ผลิตออกมามีความคงที่หากแรงดันและความถี่ไม่คงที่ เมื่อนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์มาต่อใช้งานจะทำให้ระบบเสียหายได้

3.3.2 ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ (induction motor)โดยทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้า วิธีนี้จะใช้หลักการคือเมื่อเครื่องยนต์หมุนทำงานชนะความเร็วซิงโคนัสของมอเตอร์ มอเตอร์จะทำหน้าที่เป็นไดนาโม วิธีนี้มีข้อดีคือสามารถผลิตไฟฟ้าร่วมกับไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ ได้ทันที เพราะระบบนี้จะต้องมีไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ ต่อร่วมด้วยเสมอ โดยระบบจะผลิตเฉพาะกระแส ส่วนแรงดันและความถี่จะใช้ของการไฟฟ้าฯ ทำให้ไม่เกิดผลเปลี่ยนแปลงของแรงดันและความถี่ ซึ่งหากนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์มาต่อใช้งานจะไม่ทำให้ระบบเสียหายแต่อย่างใด

อย่างไรก็ตามการนำเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพมาต่อกำลังเข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อกำเนิดไฟฟ้า จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการเลือกขนาดเครื่องยนต์หรือเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่จะนำมาต่อกัน ทั้งนี้เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างเต็มที่และประหยัดต้นทุน โดยการพิจารณาจากแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ จากนั้นจึงคำนวณกลับเพื่อหากำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สามารถทำงานที่ความเร็วรอบและให้แรงบิดใกล้เคียงกับแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์

4. วิธีการวิจัย

4.1การเก็บข้อมูลก๊าซชีวภาพ

การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเมื่อเกษตรกรผลิตก๊าซไว้แล้วและระบบอยู่ในสภาพใช้งานปกติก๊าซที่เก็บเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบนั้นต้องสามารถจุดติดไฟได้ (ดังรูปที่2)การเก็บตัวอย่างทำได้โดยจุดเตาเพื่อทดสอบการติดไฟของก๊าซจากบ่อตัวอย่าง ทิ้งไว้ประมาณ 5 mim. เพื่อไล่ก๊าซเก่าที่ค้างในท่อ จากนั้นถอดเตาออกจากปลายท่อส่ง แล้วทำการต่อท่อดูด (inlet) ของเครื่อง Gasboard Gas Analyzer (ที่ทำการ calibrate กับอากาศแล้ว) เข้ากับปลายท่อส่งก๊าซแทน พันให้แน่นด้วยเทปพันสายไฟเพื่อป้องกันอากาศภายนอกเข้าในระบบ จากนั้นการเดินเครื่อง Gasboard Gas Analyzer ที่อัตราการไหล 1L/min. ทิ้งไว้ประมาณ5min. ก่อนบันทึกผลการวิเคราะห์เบื้องต้นค่าที่ได้จากเครื่อง Gasboard Gas Analyzerจะประกอบด้วยร้อยละโดยปริมาตร CO, CO_2, CH_4และH_2 ในก๊าซตัวอย่าง

รูปที่ 2 บ่อก๊าซชีวภาพตัวอย่างขนาด 8 m^3

การเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบอย่างละเอียดทำได้โดยต่อท่อออก (outlet) ของเครื่องGasboard Gas Analyzer เข้ากับถุงเก็บก๊าซ (SKC, tedlar sample bag) แล้วทำการเก็บก๊าซจนเต็มถุง ปิดวาล์วถุงให้แน่นก่อนเก็บในกล่องพลาสติก เก็บกล่องตัวอย่างก๊าซที่อุณหภูมิห้องเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป(ดังรูปที่3)

รูปที่ 3 เครื่อง Gasboard Gas Analyzer และการเก็บตัวอย่าง

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

4.2.1วิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง Biogas Analyzer (GeoTech Biogas 5000)เป็นเครื่องแบบพกพาโดยสามารถตรวจวิเคราะห์จากบ่อหรือถุงตัวอย่างได้โดยตรง ได้ข้อมูลที่รวดเร็ว โดย GeoTech Biogas 5000 เป็นเครื่องที่ออกแบบมาเพื่อการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพโดยเฉพาะ สามารถตรวจวัดองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ CO_2, CH_4, O_2, N_2 และH_2S ในก๊าซตัวอย่าง การตรวจวัดทำได้โดยต่อท่อนำเข้า (inlet) ของเครื่องเข้ากับถุงตัวอย่าง ทำการเดินเครื่อง อ่านค่าที่วิเคราะห์ได้จากหน้าจอแสดงผล (ดังรูปที่ 4)

รูปที่ 4เครื่อง GeoTech Biogas 5000

4.2.2การวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิค Gas Chromatograph (Shimadzu GC-2014)มีความจำเพาะต่อชนิดและปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Shimadzu GC-2014 Gas Chromatograph ในการวิเคราะห์ ภายใต้สภาวะต่างๆ ดังนี้ Injection port: Temp = 100 °C, Carrier gas = He, Flow rate = 25 mL/min; Column oven: Temp = 70 °C, Hold time = 7 min; Column: Porapak Q, 2 mm ID, 3 m (L); MS-5A, 3 mm ID, 3 m (R); และ Detector: TCD, Temp =140 C, current = 80 mA(ดังรูปที่ 5)

รูปที่ 5 เครื่อง Shimadzu GC-2014 Gas Chromatograph

4.3การศึกษาการดูดซับก๊าซโดยโมเดลคอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้ใช้การจำลองแบบโมเลกุลด้วยเทคนิค Monte Carlo simulation[20]เพื่อศึกษาการดูดซับก๊าซ (CH_4, CO_2และ H_2S) ในzeoliteชนิดต่างๆ ทั้งนี้อาศัยหลักการคือการดูดซับก๊าซแต่ละชนิดมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นได้ถ้าค่าพลังงานรวมของระบบหลังจากการดูดซับที่คำนวณได้นั้นมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับพลังงานรวมของระบบก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของความหนาแน่นของการกระจายตัวของโมเลกุลก๊าซใน zeoliteและค่าไอโซเทอมการดูดซับ (adsorption isotherm) ที่อุณหภูมิห้อง (25° C) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้มาจากการเติมก๊าซเข้าไปในzeolite อย่างต่อเนื่องพร้อมกับทำการเพิ่มความดันของระบบจาก 10-3,000kPa เพื่อหาปริมาณที่มากที่สุดของก๊าซzeoliteแต่ละชนิดสามารถกักเก็บไว้ได้

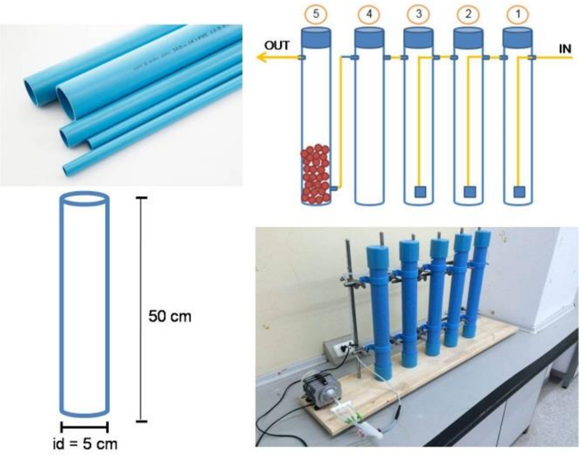
4.4การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยวิธีทางเคมี

การเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อใช้งานกับบ่อก๊าซขนาดเล็กต้องการเทคโนโลยีที่ง่าย ไม่ซับซ้อนและมีต้นทุนในการดำเนินการต่ำ ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีการดักจับด้วยการตกตะกอน (chemical precipitation) และการใช้ตัวดูดซับ (adsorbent) ประยุกต์ใช้สำหรับบ่อก๊าซขนาดเล็กที่มีปริมาณก๊าซต่อวันไม่มากโดยได้ออกแบบให้ CO_2 เกิดปฏิกิริยากับ$Ca(OH)_2$ เกิดเป็นสารประกอบ $CaCO_3$ซึ่งมี

ค่าการละลายน้ำต่ำจึงตกเป็นตะกอนร่วมอยู่กับสารตั้งต้นดังแสดงในสมการ (10) ขณะที่ก๊าซมีเทนไม่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว

$Ca(OH)_2\,(aq) + CO_2\,(g) \rightarrow CaCO_3\,(s) + H_2O\,(l)$ (10)

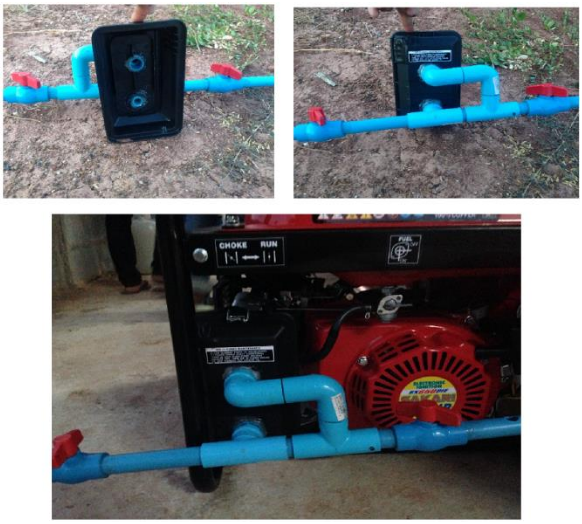
หลังจากกระบวนการตกตะกอน ก๊าซที่เหลือถูกออกแบบให้ผ่าน zeolite เพื่อดูดซับความชื้นและก๊าซที่ไม่ต้องการอีกทางหนึ่งก่อนการใช้งานต่อไป หน่วยเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6หน่วยเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพขนาดเล็กที่ใช้ในการวิจัยนี้

4.5 การดัดแปลงสภาพเครื่องยนต์

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งมาพร้อมเครื่องยนต์ ยี่ห้อ SAKARI GENERATOR EC3000CXS โดยเป็นชุดผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ 50/60 Hz มีแรงดันทางไฟฟ้า 220 V กำลังไฟสูงสุด 2 kW โดยดัดแปลงสภาพเครื่องยนต์เฉพาะฝาครอบกรองอากาศ ทำการเจาะรูติดตั้งสายนำก๊าซชีวภาพและอากาศ พร้อมทั้งติดตั้งวาล์วควบคุมปริมาณการไหลของก๊าซชีวภาพและอากาศพร้อมติดตั้งเครื่องวัดอัตรากรไหลของก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงโดยเครื่องยนต์ที่ดัดแปลงเพื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่7



รูปที่ 7สภาพการดัดแปลงฝาครอบกรองอากาศ

4.6 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

เนื้อหาการทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และอัตราการสิ้นเปลืองส่วนที่สองเป็นการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

4.6.1 เครื่องมือที่ใช้วัดแหล่งพลังงานประกอบด้วย เครื่องวัดอัตราการไหลแบบเซนเซอร์ (anemometer air velocity meter) ยี่ห้อ Testoรุ่น Testo 435 สำหรับวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่ใช้กับเครื่องยนต์ หลอดไฟที่ใช้จำลองความต้องการไฟฟ้าของเครื่องยนต์ก๊าซเพื่อทดสอบหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและกำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นหลอดไส้ขนาด 100 W จำนวน 20 หลอด วัดกำลังผลิตไฟฟ้าโดยใช้มัลติมิเตอร์ (multimeterclamp) วัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะที่เครื่องยนต์มีภาระ (ดังรูปที่ 8) โดยแหล่งพลังงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาด 750 ตัว โดยมีขนาดของบ่อ 200m^3 ของฟาร์มนายสุบัน สีทำมา โครงการส่งเสริมการเลี้ยงสุกรขุน(ฝากเลี้ยง) บริษัท ซีพีเอฟจำกัด(ดังรูปที่ 9)

รูปที่ 8การติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ

รูปที่ 9บ่อหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200m^3

4.6.2 การทดสอบหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

การทดสอบการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นการทดสอบโดยการกำหนดโหลดกำลังผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 0-2,000 W โดยวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ต่อท่อสายยางขนาด 1/2 in จากบ่อหมักเข้าถังเพื่อกำจัดH_2S ก่อนเชื้อเพลิงเข้าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

2. สตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยแก๊สโซลีนให้เครื่องเดินได้ประมาณ 2-3 min. เพื่อให้เครื่องยนต์มีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่แล้วจึงค่อยเปลี่ยนจากแก๊สโซลีนเป็นก๊าซชีวภาพล้วน โดยการปิดก๊อกน้ำมัน (ก่อนหน้าที่จะปิดก๊อกน้ำมันให้เปิดวาล์วก๊าซชีวภาพที่ mixer gas เล็กน้อย)

3. ปรับเครื่องให้เดินรอบคงที่แล้วจึงเปิดโหลดที่ 100-2,000W (โดยปรับเพิ่มครั้งละ 100W) ปรับเครื่องให้ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ที่ 220 V โดยประมาณ แล้วจึงบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพพร้อมกัน (ทดสอบซ้ำกัน 3 ครั้ง)

4. หลังการทดสอบเสร็จสิ้นให้หรี่ก๊าซชีวภาพจนเดินเบาที่สุด (ไม่แนะนำให้ดับเครื่องทันทีเพราะอาจจะมีก๊าซชีวภาพหลงเหลือในเครื่องยนต์)

5. เมื่อเครื่องเดินเบาที่สุดแล้วให้เปิดก๊อกแก๊สโซลีนพร้อมทั้งปิดวาล์วก๊าซชีวภาพ

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพก่อนปรับปรุง

ผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างแก๊สชีวภาพจากแหล่งเดียวกัน พบว่าทั้งเครื่อง Gasboard Gas Analyzer และเครื่อง GeoTech Biogas 5000 ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยมี CH_4, CO_2เป็นองค์ประกอบหลัก ประมาณร้อยละ 59 และ 38 โดยปริมาตรตามลำดับ ปริมาณ H_2S ในก๊าซตัวอย่างตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง GeoTech Biogas 5000 เท่านั้นโดยพบในปริมาณน้อยกว่า 100ppm การตรวจวัดคุณภาพก๊าซจากเครื่อง Gas Chromatography ด้วย column และสภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้นั้นตรวจพบเพียง CH_4, CO_2, และ N_2 เท่านั้น ไม่สามารถวิเคราะห์H_2S ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพตัวอย่างจากเครื่องGasboard Gas Analyzerและเครื่อง GeoTech Biogas 5000เป็นหลักผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2ผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สชีวภาพ

องค์ประกอบ	เครื่องตรวจวัด 1*	เครื่องตรวจวัด 2**
CH_4, %v/v	61.66	56.2
CO_2, %v/v	37.08	39.1
O_2, %v/v	0.00	0.8
N_2, %v/v	0.00	1%
H_2S, ppm	ตรวจวัดไม่ได้	84

หมายเหตุ *เครื่องGasboard Gas Analyzer
**เครื่อง GeoTech Biogas 5000

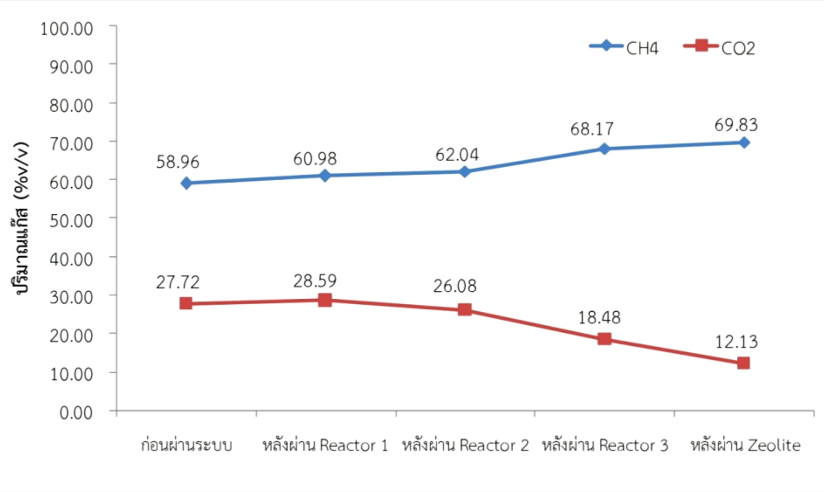
5.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพหลังปรับปรุง

การทดสอบหน่วยเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพขนาดเล็กพบว่ามีความสามารถในการลดปริมาณCO_2 จาก 27.72% โดยปริมาตร ลงเหลือ 12.13% โดยปริมาตรขณะที่ปริมาณ CH_4เพิ่มขึ้นจาก 58.96% โดยปริมาตรเป็น 69.83% โดยปริมาตร ทั้งนี้การลดลงของปริมาณCO_2และการ

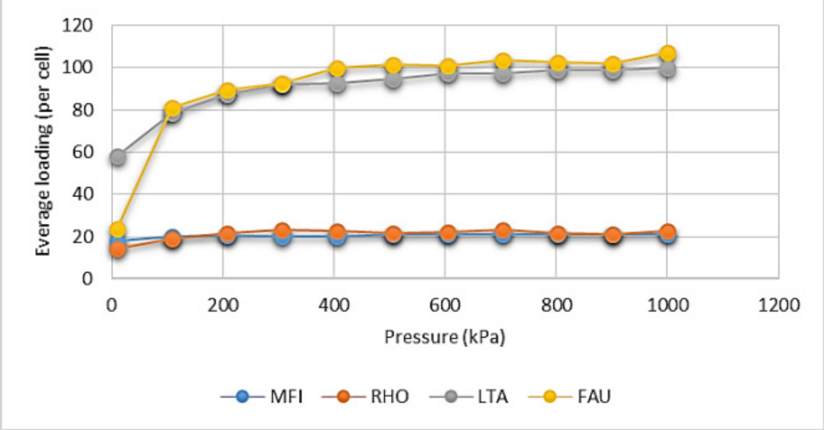
เพิ่มขึ้นของปริมาณCH_4มีแนวโน้มเป็นไปตามกระบวนการที่ก๊าซไหลผ่าน CO_2ลงลงเป็นลำดับเมื่อผ่าน reactor 1, 2, 3 และ zeolite ส่งผลให้มีปริมาณCH_4เพิ่มขึ้นตามลำดับ ผลการทดสอบหน่วยเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพขนาดเล็กกับบ่อก๊าซ ณ บ้านนาสีนวน อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม แสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 10

ตารางที่ 3ผลการทดสอบหน่วยเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพขนาดเล็กกับบ่อก๊าซ ณ บ้านนาสีนวน อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม

กระบวนการ	ปริมาณก๊าซ CH_4 (%v/v)				ปริมาณก๊าซ CO_2 (%v/v)			
	1	2	3	Ave	1	2	3	Ave
ก่อนผ่านระบบ	60.69	56.69	59.51	58.96	28.42	26.73	28.00	27.72
หลังผ่าน Reactor 1	60.81	61.03	61.11	60.98	28.52	28.56	28.68	28.59
หลังผ่าน Reactor 2	63.70	61.25	61.16	62.04	24.87	26.48	26.89	26.08
หลังผ่าน Reactor 3	69.28	69.16	66.07	68.17	17.86	18.74	18.83	18.48
หลังผ่าน Zeolite	67.95	70.38	71.15	69.83	12.19	11.46	12.74	12.13



รูปที่ 10ผลการทดสอบหน่วยเพิ่มคุณภาพก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก



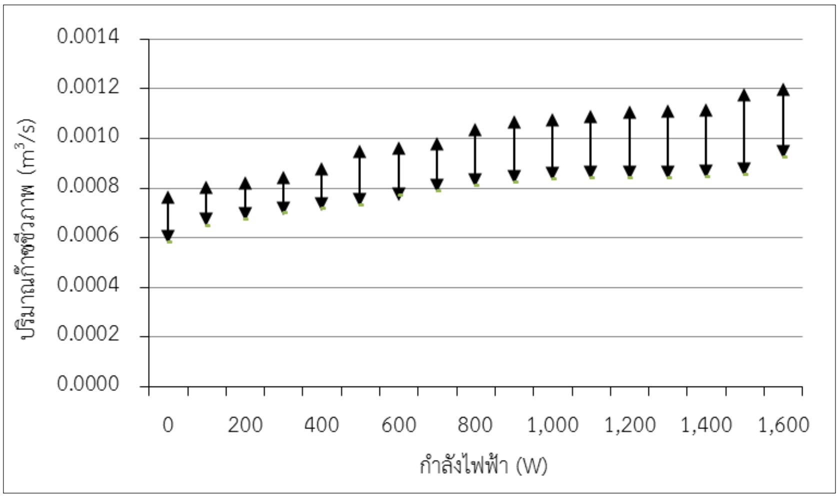
รูปที่ 11 เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับของ H_2S ในzeoliteแต่ละชนิด

5.3 ผลการศึกษาการจำลองแบบโมเลกุล

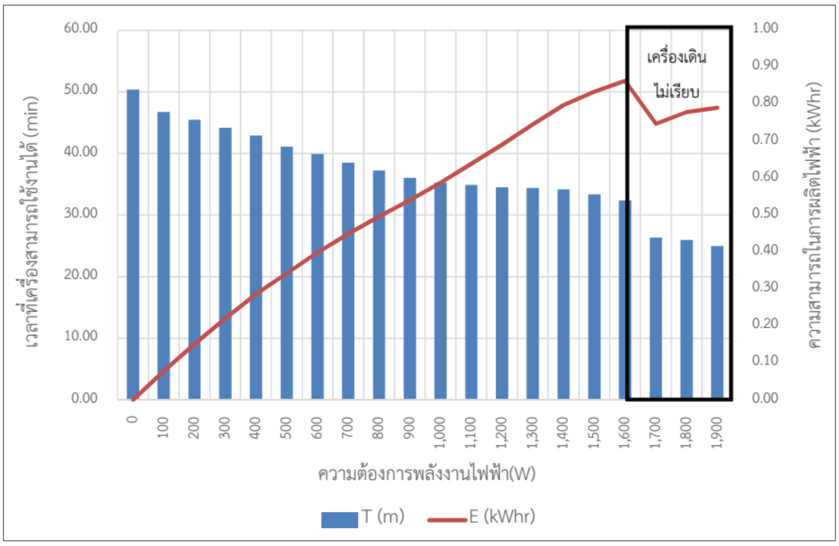
การดูดซับ H_2S ด้วยโครงสร้างzeolite ที่มีขนาดรูพรุนที่เหมาะสม 4 ชนิด ได้แก่ แบบ MFI, RHO, FAU และ LTA โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์พบว่าZeolite แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซที่แตกต่างกัน โดย zeolite ที่มีความสามารถในการดักจับ H_2S ที่ดีคือแบบ LTA และ FAU ซึ่งงานวิจัยนี้จะได้นำไปทดลองใช้ต่อไป การเปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับของ H_2S ในZeolite แต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 11

5.4 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์จะใช้ข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ผลการเก็บข้อมูลสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้



รูปที่ 13กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตไฟฟ้ากับเวลา (วัน) ขนาดบ่อ 8 m^3

จากรูปที่ 12แสดงให้เห็นว่าความต้องการปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพของเครื่องยนต์เริ่มต้นที่ 0.000662 m^3/s ผลจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ พบว่าเมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้นจาก 0-1,600W (0-16 หลอด) ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน สามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายได้ดังสมการ (11)

$$y = (3 \times 10^{-7})x + 0.0007 \quad (11)$$

สมการ (11) สามารถอธิบายความผันแปรของ y ได้ 89% (R^2=0.89) โดย x คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ และ x คือ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้

จากการเก็บข้อมูลพื้นฐานบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 8 m^3 พบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 1-3 m^3/day จึงใช้ค่าประมาณการที่ 2 m^3/day ในการจำลองการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้า พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการใช้งานกับความสามารถในการผลิตไฟฟ้าสูงสุด แสดงดังรูปที่ 13

6. สรุป อภิปรายผลการศึกษา

6.1 สรุป อภิปรายผล

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักของเสียจากการเลี้ยงสุกรของบ่อก๊าซตัวอย่างมี CH_4 และ CO_2 เป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณ 58.96%และ 27.72% โดยปริมาตรตามลำดับ เมื่อผ่านระบบเพิ่มคุณภาพก๊าซซึ่งออกแบบเพื่อลดปริมาณ CO_2 ของก๊าซชีวภาพส่งผลให้มีปริมาณ CH_4 เพิ่มขึ้น พบว่าองค์ประกอบของก๊าซหลังผ่านระบบนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 69.83% และปริมาณ CO_2 ลดลงเหลือ 12.13% โดยปริมาตร แสดงถึงความสามารถของระบบที่สามารถลด CO_2 ออกจากก๊าซชีวภาพได้ อย่างไรก็ตามยังต้องมีการปรับปรุง model เพื่อให้สามารถลด CO_2 ให้ได้มากขึ้นต่อไป จากการทดลองพบปัญหาการลดลงของแรงดัน (pressure drop) ของก๊าซเมื่อผ่านระบบอาจส่งผลต่อปริมาณก๊าซที่จะจ่ายให้เครื่องยนต์ได้ ดังนั้นอาจต้องมีการเพิ่มขนาดของหน่วยเพิ่มคุณภาพขึ้นอีกหรืออาจพิจารณาเปลี่ยนเป็นระบบการดูดซับในเฟสของแข็งแทนซึ่งจะมีศึกษาและทดลองต่อไป

สมรรถนะเครื่องยนต์ของระบบผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังผลิต 2,000W ที่มีการดัดแปลงเฉพาะฝาครอบกรองอากาศเพื่อใช้ก๊าซชีวภาพพบว่าเครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องได้ปกติในช่วงการผลิตไม่เกิน 1,600 W โดยมีความต้องการปริมาณเชื้อเพลิงแปรผันตรงตามความต้องการก๊าซเริ่มต้น 0.000662 m^3/s จากผลการวิเคราะห์นำมาส่งเสริมควบคู่ระบบผลิตก๊าซขนาด 8 m^3 สามารถใช้งานได้เพียง 34 min. โดยไม่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1ระบบปรับปรุงก๊าซที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบของเหลวซึ่งต้องอาศัยปั๊มในการส่งก๊าซ นับว่าเป็นอุปกรณ์เพิ่มเติมที่ส่งผลกระทบต่อระบบเนื่องจากต้องการแหล่งไฟฟ้าเพื่อให้ระบบทำงานได้ และพบปัญหาการลดลงของแรงดัน (pressure drop) ของก๊าซมากเมื่อผ่านระบบซึ่งส่งผลโดยตรงต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่จ่ายให้กับเครื่องยนต์ ดังนั้นควรพิจารณาเปลี่ยนไปเป็นระบบการดูดซับในเฟสของแข็งแทน

6.2.2การนำไปประยุกต์ใช้งานจริงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ควรมีการวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของผู้ใช้ควบคู่กับกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของชุดกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องยนต์ โดยพิจารณาเลือกใช้ขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอย่างน้อย 1.5 เท่าของความต้องการไฟฟ้าสูงสุด

6.2.3การนำระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพขนาดเล็กเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ควรพิจารณาขนาดของบ่อผลิตก๊าซไม่ต่ำกว่า 16 m^3 เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการ

6.2.4การส่งเสริมระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก น่าจะก่อประโยชน์สูงสุดในกลุ่มฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาด 500ตัวขึ้นไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคลินิกเทคโนโลยีกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สนับสนุนงบประมาณการทำวิจัยและขอบคุณหน่วยวิจัยพลังงานหน่วยวิจัยเคมีอนินทรีย์หน่วยวิจัยเคมีเชิงฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฟาร์มนายสุบัน สีทำมา (โครงการส่งเสริมการเลี้ยงสุกรขุน (ฝากเลี้ยง) บริษัท ซีพีเอฟ จำกัด) ที่อนุเคราะห์สถานที่อุปกรณ์ ตลอดจนคอยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Petersson, A.; Wellinger, A. (2009). Biogas upgrading technologies–developments and innovations. IEA

Bioenergy, Task 37-Energy from biogas and landfill gas. 20pages.

[2] Niesner, J.; Jecha, D.; and Stehlik, P. Biogas upgrading techniques: state of art review in european region. Chemical Engineering Transactions. 2013, 35, 517-522.

[3] Bauer, F., et al. Biogas upgrading–Review of commercial technologies. SGC Report, 2013, 270, 84pages.

[4] Persson, M. Evaluation of upgrading techniques for biogas. SGC report, 2003, 142, 75pages.

[5] Electrigaz Technologies Inc. (2008). Feasibility Study–Biogas upgrading and grid injection in the Fraser Valley, British Columbia. 152pages.

[6] สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์. (2555). การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในชุมชน. แก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ 2: 201-204.

[7] ปภัส ชนะโรค. (2555). การพัฒนากระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในยานพาหนะ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. 414-149.

[8] Lombardi, L.; Carnevale, E. Economic evaluations of an innovative biogas upgrading method with CO_2 storage. Energy. 2013, 62, 88-94.

[9] Zhou, J., et al. Effects of various factors on biogas purification and nano-$CaCO_3$ synthesis in a membrane reactor. Industrial and Engineering Chemistry Research. 2014, 53, 1702-1706.

[10] Starr, K., et al. Life cycle assessment of biogas upgrading technologies. Waste Management. 2012, 32,991-999.

[11] Baciocchi, R., et al. Innovative process for biogas upgrading with CO_2 storage: Results from pilot plant operation, biomass and bioenergy. 2013a, 53, 128-137.

[12] Baciocchi, R., et al. Performance of a biogas upgrading process based on alkali absorption with regeneration using air pollution control residues. Waste Management. 2013b, 33, 2694-2705.

[13] Baciocchi, R., et al. Pilot-scale investigation of an innovative process for biogas upgrading with CO_2capture and storage. Energy Procedia. 2013c, 37, 6026-6034.

[14] Persson, M. Evaluation of upgrading techniques for biogas. SGC report, 2003, 142, 75 pages.

[15] Pires, J.; Saini, V.K.; and Pinto, M.L. Studies on selective adsorption of biogas components on pillared clays: Approach for biogas improvement. Environmental Science and Technology. 2008, 42,8727-8732.

[16] Yuan, B., et al. Adsorption of CO_2, CH_4, and N_2on ordered mesoporous carbon: Approach for greenhouse gases capture and biogas upgrading. Environmental Science and Technology.2013, 47, 5474-5480.

[17] Montanari, T., et al. CO_2separation and landfill biogas upgrading: A comparison of 4A and 13X zeolite adsorbents. Energy. 2011, 36, 314-319.

[18] Alonso, V.A., et al. Purification and upgrading of biogas by pressure swing adsorption on synthetic and natural zeolites. Microporousand Mesoporous Materials. 2010,134, 100-107.

[19] Truong, L.V.; Abatzoglou, N. A H_2S reactive adsorption process for the purification of biogas prior to its use as a bioenergy vector. Biomass and Bioenergy. 2005, 29, 142-151.

[20] Metropolis, N.; Rosenbluth, A.W.; Rosenbluth, M.N.; Teller, A.H.; Teller, E. The Journal of Chemical Physics, 1953, 21, 1087.

การพัฒนาระบบควบคุมการระบายความร้อนของแผงโซล่าเซลล์โดยใช้กาลักน้ำ

A Controls SystemDevelopment Solar PanelCooling By Siphon

จุไรรัตน์จินดา อรรคนิตย์[1*] อลงกรณ์ พรมที[1] บัววรณ์ ไชยธงรัตน์[1] ณัฐพงษ์ ทองนาค[1]

Churairatchinda Akkanit[1*] Somchai Siripatanakul[1] Alongorn Promtee[1] Nattapong Tongnak[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 64 ถ.ทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000Electrical Engineering Faculty of Technology Udonthanirajabhat University 64 Taharn Road T.Markkang A.Muang Udonthani 41000

*E-mail : Churairatchinda@yahoo.com , 042-211040 ต่อ 1510 ,042 -241418

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบควบคุมการระบายความร้อนของแผงโซล่าเซลล์โดยใช้กาลักน้ำเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าในการสูบน้ำกลับด้วยปั๊ม ระบบลักน้ำใช้หลักการแรงดันของของเหลวซึ่งแปรผันกับความสูงเพื่อปล่อยน้ำล้างหน้าแผงโซล่าเซลล์ระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จะปิดเปิดโซลินอยด์วาล์วในระบบลักน้ำ และระบบตะบันน้ำจะทำหน้าที่สูบน้ำกลับไปยังถังของระบบลักน้ำ จากผลการศึกษาพบว่าระบบกาลักน้ำมีประสิทธิภาพ 75 % เมื่อปลายท่อน้ำออกมีความสูง10 cm จากก้นถัง ความดันบรรยากาศขาออกมีค่า-8.5 kPa อัตราการไหลมีค่ามากที่สุด 23 ml/sและระบบตะบันน้ำมีประสิทธิภาพ36.23 % โดยระบบควบคุมอุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์แบบโพลีคริสตอลไลน์ขนาด 120 wทำงานเมื่ออุณหภูมิของแผงมีค่า 35 °Cขณะมีน้ำหล่อเย็นที่หน้าแผงอุณหภูมิของแผงลดลงเป็น 33°C กำลังไฟฟ้าสูงสุด 83 wและกำลังไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น 15.27%

Abstract

This research is the study of a controls system development solar panel cooling by a siphon to the reduced electricity consumption of pump. Siphon system used the principle fluid pressure varies with the height to let water cleansing in front of the solar panel. A temperature control system by a microcontroller to turn off the solenoid valve in a siphon system and the hydraulic ramp is pumped back to a tank of siphon system. The results show the efficiency of siphon system is 75% when outlet tube height 10 cm from the bottom of the tank , output atmosphere is -8.5 kPa and the maximum flow rate is 23 ml/s. The efficiency of hydraulic ramp pump is 36.23 %. A temperature control system of the 120 w polycrystalline solar panel work at 35 °C . The solar panel is reduced to 33 °C when water cooling in front of the panel, maximum power is 83 w and power increased 15.27%.

คำหลัก :กาลักน้ำ , ตะบันน้ำ , โซล่าเซลล์ , ไมโครคอนโทรลเลอร์

Keywords:Siphon , Hydraulic Ramp , Solar Cell ,Microcontroller

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับแผงโซล่าเซลล์หลายวิธี โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ ได้แก่ ชนิดของแผงโซล่าเซลล์ โครงสร้างของแผง ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ลักษณะการติดตั้งแผง การดูแลรักษา และอุณหภูมิ โดยผู้วิจัยสนใจตัวแปรที่ทำให้ประสิทธิภาพของแผงลดลง คืออุณหภูมิและการดูแลรักษา เมื่ออุณหภูมิของแผงเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของแผงลดลง ปกติค่าประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์จากผู้ผลิตจะอ้างอิงที่อุณหภูมิทำงานที่ 25 °C แต่ในการใช้งานจริงประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะลดลงประมาณ 0.4 % สำหรับทุก 1 °C ที่สูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิประมาณ 50 – 60 °C ประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์จะลดลงประมาณ 10 – 15 %จากเหตุผลดังกล่าวหากสามารถใช้น้ำในการลดอุณหภูมิของแผงโซ

ล่าเซลล์ลงได้จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์

ประภาทิพย์ บุญหล้า (2556) ได้ศึกษาผลของการระบายความร้อนของผิวหน้าแผงต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวตาอิกซึ่งได้ทำการทดสอบพ่นน้ำบนผิวหน้าของแผง 2 ชนิด คือ แผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน 40 วัตต์ และแผงชนิดอะมอร์ฟัส 40 วัตต์ พบว่าประสิทธิภาพในการทำงานของแผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอนและแผงชนิดอะมอร์ฟัสมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.05 และ 7.74 ตามลำดับ

น้ำฝน โอวศิริกุล (2550) ได้พัฒนาโมดูลโฟโตโวตาอิกรวมกับรางรวมแสงประกอบพาราโบลา ที่อัตราการรวมแสงเท่ากับ 3 และครึ่งมุมรับรังสีเท่ากับ 36 โซล่าเซลล์ จำนวน 30 เซลล์โดยต่ออนุกรม พบว่าการใช้โมดูลโมดูลโฟโตโวตาอิกรวมกับรางรวมแสงประกอบพาราโบลาที่มีการระบายความร้อนออกโดยใช้น้ำระบายความร้อนใต้โมดูลทำให้อุณหภูมิของโมดูลลดลงและผลิตกำลังไฟฟ้ามากกว่าระบบที่ไม่มีการระบายความร้อน ในส่วนการระบายความร้อนนั้นการใช้อากลิกซิสเวอร์กับแผ่นซิลิโคนยางสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าอากลิกซิสเวอร์กับไมก้า

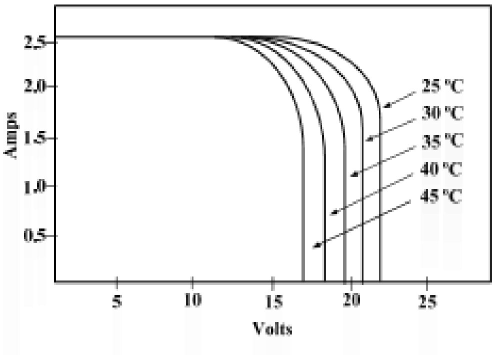
อรรถกร อาสนะคำ (2015) ได้ทำนายอุณหภูมิของโมดูลโซล่าเซลล์ ร่วมกับค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบของโมดูลเพื่อคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ทดสอบกับโมดูลโซล่าเซลล์ชนิดคริสตรัลไลน์ขนาด 0.99 m x 1.96 m ภายใต้การทำงานจริงโดยโมดูลหันหน้าไปทางทิศใต้และเอียงทำมุม 18 องศากับแนวระดับ ซึ่งจากการจำลองสอดคล้องกับผลการทดสอบเป็นอย่างดีพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิโมดูลที่ลดลง

2.วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์โดยใช้ระบบกาลักน้ำร่วมกับตะบันน้ำเพื่อใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยที่สุดในการลดอุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์และเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

3.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ที่สำคัญได้แก่กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวกำหนดกำลังไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ โดยส่วนมากผู้ผลิตจะแสดงคุณสมบัติของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าด้วยกราฟโดยทำการทดสอบในสภาวะที่อุณหภูมิและปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงโซล่าเซลล์มีค่าคงที่ลักษณะของแผงโซล่าเซลล์จะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณแสงที่ตกกระทบและโหลดที่ต่ออยู่ในวงจร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ดังรูปที่ 1 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าลดลงตามลำดับ



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อปริมาณแสงคงที่

3.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (n_{pv}) หรือประสิทธิภาพทำงานของแผงโซล่าโซล่าเซลล์หาได้จากสมการดังนี้

$$n_{pv} = \frac{P_m}{P_i.A} \quad (1)$$

และ

$$P_m = I_m.V_m \quad (2)$$

เมื่อ I_m คือ กระแสสูงสุด (A)

V_m คือ แรงดันสูงสุด (V)

P_m คือกำลังไฟฟ้าสูงสุดของโซล่าเซลล์ (W)

P_i คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)

A คือ พื้นที่รับแสงของโซล่าเซลล์ (m^2)

โดยที่อัตราส่วนระหว่าง $I_m.V_m$ กับ $I_{sc}.V_{oc}$ เรียกว่าฟิลล์แฟกเตอร์ของโซล่าเซลล์(FF) ซึ่งจะเขียนสมการฟิลล์แฟกเตอร์ของโซล่าเซลล์ [2,3]

$$FF = \frac{I_m.V_m}{I_{sc}.V_{oc}} \quad (3)$$

และ $P_m = I_m.V_m = FF.(I_{sc}.V_{oc})$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 1 จะได้ว่า

$$n_{pv} = \frac{FF(I_{sc}V_{oc})}{P_i.A} \quad (4)$$

I_{sc} คือ กระแสลัดวงจร (A)

V_{oc} คือ แรงดันขณะเปิดวงจร (V)

3.2เครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic ram pump) คือ อุปกรณ์ส่งน้ำที่สามารถทำงานด้วยพลังงานของตัวมันเอง โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานจากที่อื่น ใช้หลักการของวอเตอร์แฮมเมอร์ หลักการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ เป็นปั๊มน้ำที่ไม่ใช้พลังงานจากไฟฟ้าขับตัวปั๊มให้ทำงานแต่จะอาศัยหลักการกระแทกของน้ำในท่อซึ่งถูกทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลอย่างกะทันหัน ทำให้ความดันในตัวปั๊มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาสั้นๆ วอเตอร์แฮมเมอร์ คือ ปรากฏการณ์ที่ความดันภายในท่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วฉับพลันและรุนแรง สาเหตุที่ทำให้เกิดวอเตอร์แฮมเมอร์ คือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลภายในท่อหรือระบบที่มีการไหล เช่น การปิดประตูอย่างรวดเร็วทำให้ความเร็วในการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การทำแบบนี้จะทำให้โมเมนตัมของการไหลถูกเปลี่ยนแปลงกลายเป็นแรงกระทบบนประตูหรือผนัง [1]

สมมุติให้ V_m คือ ความเร็วไหลแล่นของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (Drive Pipe) ที่ Supply Head (h) หาได้จาก สมการ[5]

$$V_m = \frac{A_w}{A_d} x V_0 \quad (5)$$

เมื่อ V_m = ความเร็วไหลแล่นของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (m/s)

A_w = พื้นที่หน้าตัดของลิ้นทิ้งน้ำขณะเปิด (m^2)

A_d = พื้นที่หน้าตัดของท่อส่งน้ำ (Drive Pipe)

3.3 ประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ หาได้จากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพ (Rankine)} = \frac{qH}{Qh} x100 \quad (6)$$

เมื่อ q = อัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ (l/s)

Q = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้า (l/ s)

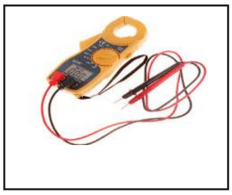
h = ความสูงที่สูบน้ำ(m)

H = ความสูงของน้ำที่ไหลเข้า(m)

4. วิธีการวิจัย

4.1 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย

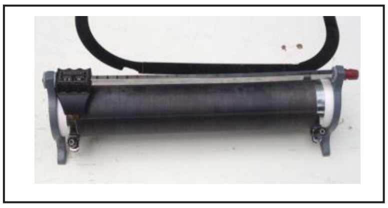
4.1.1 มัลติมิเตอร์และแคลมป์มิเตอร์ ใช้ในการวัดแรงดันไฟฟ้าและวัดกระแสไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ เพื่อวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2มัลติมิเตอร์และแคลมป์มิเตอร์

4.1.2 เครื่องวัดอุณหภูมิเพื่อวัดอุณหภูมิใต้แผงโซล่าเซลล์ขณะที่มีอยู่กลางแสงแดด

4.1.3 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ขนาด 8.5 A 10 Ωใช้เป็นโหลดต่อกับแผงโซล่าเซลล์เพื่อหากราฟคุณสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้

4.1.4โซล่าเพาเวอร์มิเตอร์ใช้ในการวัดความเข้มของแสงอาทิตย์และกระบอกตวงน้ำขนาด 50 mlใช้

ในการวัดค่าปริมาณน้ำที่ไหลออกจากรางระบายน้ำตามรูปที่ 4

ก) โซล่าเพาเวอร์มิเตอร์

ข) กระบอกตวงน้ำ

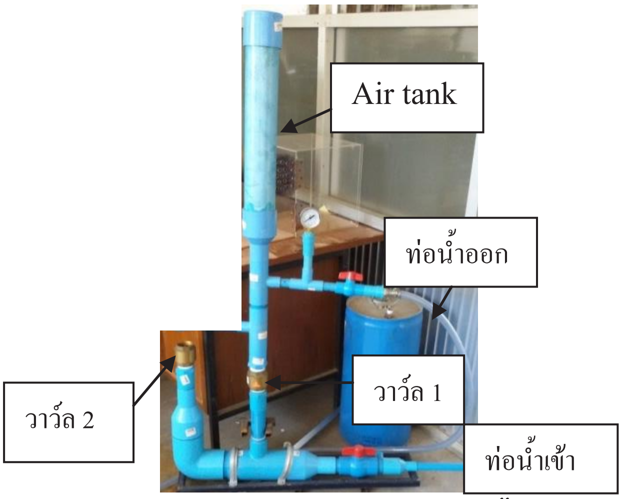
รูปที่ 4เครื่องวัดแสงและปริมาณน้ำ

4.2 โครงสร้างของระบบ

ระบบควบคุมการระบายความร้อนของแผงโซล่าเซลล์โดยใช้กาลักน้ำประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ระบบตะบันน้ำขนาด $1\frac{1}{2}''$ ระบบกาลักน้ำและระบบควบคุมอุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์ตามรูปที่ 5

รูปที่ 5ระบบควบคุมการระบายความร้อนของแผงโซล่าเซลล์โดยใช้กาลักน้ำ

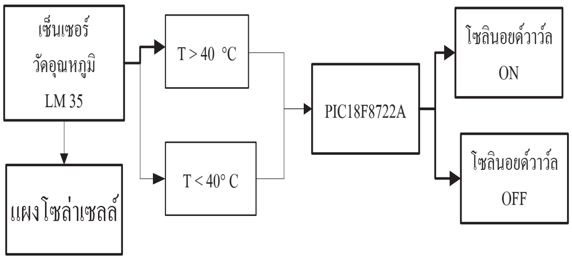
ระบบตะบันน้ำประกอบด้วยท่อพีวีซีขนาด ¾"เพื่อนำน้ำเข้าระบบและมีเช็ควาล์วสปริงตัวที่ 1 ทำหน้าที่ปล่อยน้ำเข้าถังเก็บอากาศ และเช็ควาล์วตัวที่ 2 จะเปิดน้ำให้ไหลออกขณะที่เช็ควาล์วตัวที่ 1 ปิดอยู่ ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6ระบบตะบันน้ำขนาด $1\frac{1}{2}''$

รูปที่ 7ระบบกาลักน้ำ

รูปที่ 7ถังกาลักน้ำเป็นถังเหล็กทรงกระบอกขนาด 30 ลิตรเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 cm มีวาล์วกั้นน้ำทางเดียวทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของน้ำ และมีบอลวาล์วขนาด ½ นิ้ว 2 ตัวเป็นวาล์วระบายอากาศ และมีบอลวาล์วด้านออกทำหน้าที่ควบคุมการปิดเปิดของน้ำ



รูปที่ 8ระบบควบคุมอุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์

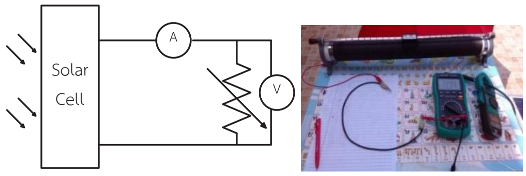
รูปที่ 8 วงจรควบคุมอุณหภูมิใช้ไมโครคอนโทลเลอร์เบอร์ 18F8722A ในการควบคุมระบบกาลักน้ำตามอุณหภูมิ โดยมีไอซี LM35 เป็นเซ็นเซอร์อุณหภูมิ และไมโครคอนโทลเลอร์เบอร์ 18F8722A ในการประมวลผลซึ่งจะแสดงผลโดยใช้จอ LCD โดยอาศัยหลักการสแกนทีละหลัก ส่วนนี้จะทำหน้าที่แสดงผลการวัดอุณหภูมิ แสดงผลค่าอุณหภูมิที่ต้องการใช้ปั๊มน้ำทำงานและหยุดทำงาน

4.3 วิธีการวิจัย

4.3.1 การทดลองความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดันภายในถังของระบบกาลักน้ำ โดยใช้มิเตอร์ความดันน้ำขาออกของถังน้ำลักน้ำและวัดอัตราการไหลออกของน้ำโดยใช้กระบอกตวงวัดปริมาตรของน้ำที่ไหลภายในเวลา 2 วินาทีเพื่อคำนวณหาอัตราการไหล และทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวาล์วกั้นทางเดียวที่ตำแหน่งต่างๆจากก้นถังเป็นระยะห่าง 10 เซนติเมตร ตามรูปที่ 9เพื่อสังเกตอัตราการไหลของน้ำ

รูปที่ 9การอัตราการไหลและแรงดันน้ำที่ความสูงต่างๆ

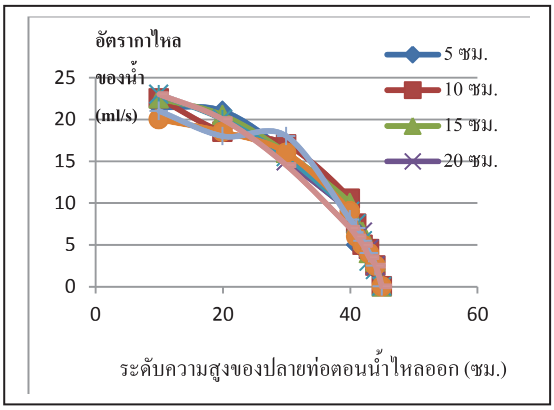
4.3.2การทดลองหากราฟคุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดันของแผงโซล่าเซลล์ ทำการวัดค่าแรงดันขณะเปิดวงจรของแผงโซล่าเซลล์ขนาด 120 W โดยใช้มัลติมิเตอร์และทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ขณะลัดวงจรหาคุณสมบัติของแผงโซล่าเซลล์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน เมื่อมีน้ำหล่อเย็นด้านหน้าแผงโดยควบคุมอุณหภูมิด้านหลังแผง และเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 40 °C ไม่มีน้ำหล่อเย็น โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบขวดลวด 10 Ω ต่อเป็นโหลด และทำการปล่อยน้ำที่อัตราไหลคงที่ วัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าโดยใช้มัลติมิเตอร์และแคลมป์มิเตอร์ วัดค่าอุณหภูมิของแผงโซ่ล่าเซลล์โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ซึ่งทำการทดลองในขณะที่ความเข้มของแสงอาทิตย์มากกว่า 800 w/m^2 ตามรูปที่ 10



รูปที่ 10การวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์

5.ผลการทดลอง

5.1 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของวาล์วกั้นน้ำทางเดียว

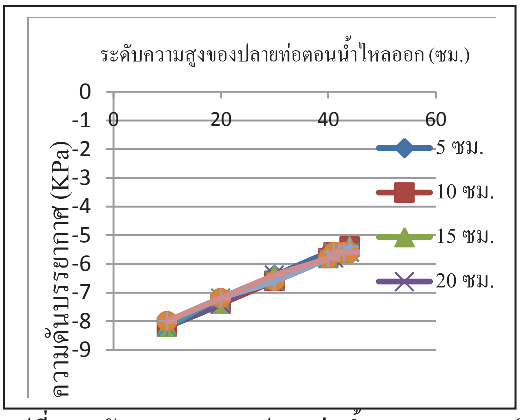


รูปที่ 11ระดับความสูงของปลายท่อน้ำออกและอัตราการไหลของท่อน้ำออก ½″ ในระบบกาลักน้ำ

จากรูปที่ 11 อัตราการไหลออกของน้ำจากท่อขนาด ½″เมื่อทำการเปลี่ยนความสูงวาล์วกั้นน้ำทางเดียวในระบบกาลักน้ำที่ความสูง 5 cm จนกระทั่งถึงระดับ 30 cm จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อระดับความสูงของปลายท่อน้ำไหลออกเพิ่มขึ้นจาก 10 cm– 44 cm อัตราการไหลออกของน้ำจะลดลงจนกระทั่งมีค่าเป็น 0 ml/s เนื่องจากระดับความสูงในถังล่างเท่ากับระดับความสูงของปลายท่อน้ำออกทำให้อัตราไหลลดลง ดังนั้นถ้าระดับความสูงของปลายท่อ

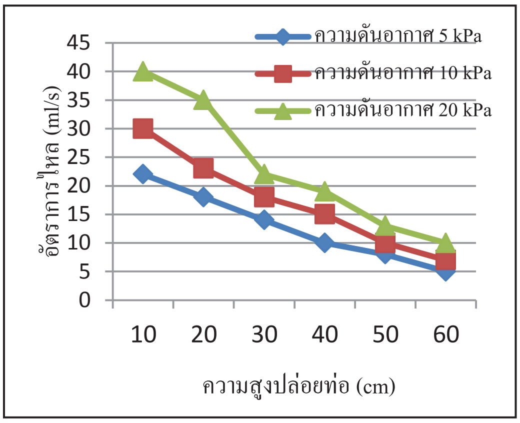
ออกมีค่า 10 cm จะทำให้ได้อัตราการไหลออกมากที่สุดคือ23 ml/s ที่ระดับความสูงของวาล์วกั้นน้ำทางเดียวอยู่ที่ 20 cm ประสิทธิภาพของระบบลักน้ำจากสมการที่ 6 เมื่ออัตราการไหลเข้ามีค่า 23 ml/s และอัตราการไหลออกมีค่า 23 ml/s ความสูงของถังลักน้ำ12 m และความสูงของน้ำที่ไหลเข้า 1.5 m ประสิทธิภาพเป็น75 %

5.2 การวัดความดันของถังลักน้ำกับอัตราการไหลออกของน้ำ จากรูปที่ 11เมื่อความสูงของปลายท่อน้ำออกเพิ่มขึ้นค่าความดันบรรยากาศ (kPa) ภายในถังลักน้ำจะเพิ่มขึ้นตามโดยค่าความดันบรรยากาศน้อยที่สุดคือ -8.5 kPa ความสูงของปลายท่อน้ำออก 10 cm อัตราการไหล 23 ml/s ซึ่งเมื่อความดันบรรยากาศมีค่าติดลบมากหรือเข้าใกล้ศูนย์จะทำให้น้ำในถังแรงดันเพิ่มขึ้นและเนื่องจากแรงดันของของเหลวแปรผันโดยตรงกับความสูง และเมื่อปล่อยน้ำออก ทำให้แรงดันในสายยางทั้งสองข้างไม่สมดุลกันดังนั้นน้ำจากถังลักน้ำจึงไหลลงไปล้างหน้าแผงโซล่าเซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากปลายสายยางข้างที่น้ำออก ยังคงอยู่ต่ำกว่าปลายสายยางข้างที่น้ำเข้า



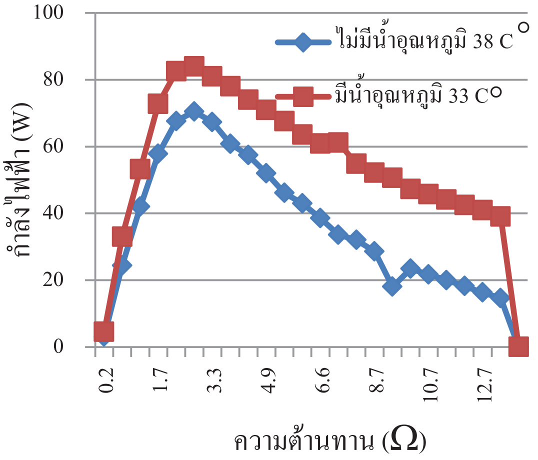
รูปที่12ระดับความสูงของปลายท่อน้ำออกและความดันบรรยากาศของท่อน้ำออก ½ นิ้ว ของระบบลักน้ำ

5.3 การวัดอัตราการไหลของระบบตะบันน้ำ



รูปที่ 13อัตราการไหลและความสูงปลายท่อของระบบตะบันน้ำ

จากรูปที่ 13สำหรับระบบตะบันน้ำเมื่อความสูงของปลายท่อออกเพิ่มขึ้นอัตราการไหลจะลดลงและเมื่อความดันอากาศภายในกระบอกอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการกระแทกของน้ำในท่อซึ่งถูกทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลอย่างกะทันหัน ทำให้ความดันในตัวปั๊มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาสั้นๆประสิทธิภาพของระบบตะบันน้ำจากสมการที่ 6 เมื่ออัตราการไหลออกสูงสุดเฉลี่ย 20 ml/s และอัตราไหลของน้ำที่ไหลเข้า 23 ml/s ที่ความสูงที่สูบน้ำได้ 1.2 mความสูงของน้ำที่ไหลเข้า 0.5 m จะได้ประสิทธิภาพของระบบตะบันน้ำ 36.23 %



รูปที่ 14กำลังไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ที่อุณหภูมิ 38°C และอุณหภูมิ33°C

จากรูปที่ 14กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่อุณหภูมิ38 °C ไม่มีน้ำหล่อเย็น มีค่าสูงสุด 72 wส่วนกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่อุณหภูมิ 33 °C มีน้ำหล่อเย็น มีค่าสูงสุด 83 wซึ่งมีค่ามากกว่า 9 wโดยน้ำที่ล้างหน้าแผงทำให้อุณหภูมิของแผงลดลง 5 °Cมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 15.27%

6. สรุปผลการทดลอง

6.1 ระบบกาลักน้ำสามารถทำงานได้ดีมีประสิทธิภาพ 75 % ระดับความสูงของท่อน้ำออกและท่อน้ำเข้าต่างกัน 0.5 m ท่อน้ำไหลออกมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด ½ นิ้ว เมื่อความสูงของปลายท่อมีค่า10ซม. อัตราการไหลออกของน้ำมากที่สุดคือ23 ml/s ระดับความสูงของวาล์วกั้นน้ำทางเดียวสูง20 ซม.

6.2 ระบบตะบันน้ำอัตราการไหลของน้ำจะแปรผันตรงกับความดันอากาศภายในกระบอกอัดอากาศและความสูงของน้ำที่ไหลเข้าประสิทธิภาพของระบบมีค่า 36.23%

6.3กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซล่าเซลล์เมื่อนำระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้น้ำหล่อเย็นที่หน้าแผงโซล่าเซลล์ทำให้อุณหภูมิของแผงลดลง 5 °Cประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 15.27 % ซึ่งมากกว่าระบบหล่อเย็นแบบครีบและไม่มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการใช้ปั๊มไฟฟ้าในการสูบกลับเพราะใช้หลักการของแรงดันของของเหลวซึ่งแปรผันกับความสูง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] เครื่องสูบน้ำแบบไฮดรอลิกแรมป์.(2553). คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยชลประทาน สถาบันสมทบ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] น้ำฝนโอวศิริกุล, ศิริชัยเทพาและเก้ากันยาสุดประเสริฐ.(2550).การพัฒนาโมดูลโฟโตโวลทาอิกร่วมกับรางรวมแสงแบบรูปประกอบพาราโบลา, การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุครั้งที่ 1 คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร,หน้าที่ 1-7.

[3] นิคม ผึ่งคำ (2551). วิทยานิพนธ์เรื่อง การเพิ่มสมรรถนะของแผงโซล่าเซลล์โดยระบบหล่อเย็น. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[4] ประภาทิพย์ บุญหล้า และ นุชิดา สุวแพทย์ (2556). การระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอกชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัส. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 9 ,หน้า 380 –387

[5] มหาวิทยาลัยรังสิต (2559) .บทที่ 14 ของไหล, [ระบบออนไลน์] , แหล่งที่มา https://www.rsu.ac.th/science /physics/sema/phy.../lesson_14.DOC , เข้าดูเมื่อ วันที่ 1/02 /2559.

การศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มด้วยตัวทำละลายร่วม

STUDY OF OIL EXTRACTION FROM OIL PALM MEAL USING CO-SOLVENT

เจริญพร ถาวรประเสริฐ* และ กฤช สมนึก

Jarernporn Thawornprasert* and Krit Somnuk

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถนนกาญจนวณิชย์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

15 Karnjinavanich Rd., HatYai, Songkhla 90110

E-mail: Thawornprasert.j@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันแห้ง (Dried Oil Palm Meal, DOPM) ด้วยตัวทำละลายร่วม โดยตัวทำละลายที่ศึกษาคือ เฮกเซน, เบนซีน, เอทิล อะซิเตท, อะซิโตน, ไอโซโพรพานอล, เอทานอล และเมทานอล ด้วยเครื่องกวนสารแบบแท่งแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) ในการทดลองแรกเป็นการใช้ตัวทำละลายแต่ละชนิดในการสกัดน้ำมัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวทำละลายแต่ละชนิดต่อปริมาณผลได้ (Yield) ของน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมัน (Extracted Oil Palm Meal, EOPM) อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายกับกากผลปาล์มน้ำมันเท่ากับ 10:1 ml/g ใช้ความเร็วรอบ 300 rpm เวลาการสกัดน้ำมัน 10 นาที พบว่าเฮกเซนสามารถสกัดน้ำมันได้สูงสุดคือ 9.7250 wt.% ขั้นตอนต่อไปได้ศึกษาการใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเป็นตัวทำละลายหลักในการผสมกับตัวทำละลายตัวอื่นๆในอัตราส่วน 1:1 ml/ml พบว่า เฮกเซน:เอทานอล สามารถสกัดน้ำมันได้สูงสุดคือ 10.4035 wt.% และใช้ตัวทำละลายเอทานอลเป็นตัวทำละลายหลักในการผสมกับตัวทำละลายตัวอื่นในอัตราส่วน 1:1 ml/ml พบว่า เอทานอล:เอทิล อะซิเตท สามารถสกัดน้ำมันที่สูงสุดคือ 10.7557 wt.% ทั้งนี้ในการเลือกใช้วิธีตัวทำละลายร่วม (Co-Solvent) เพื่อเป็นการลดต้นทุนการใช้ตัวทำละลาย

Abstract

In this study, the oil extraction process from dried oil palm meal (DOPM) was extracted with co-solvent. The solvents: hexane, benzene, ethyl acetate, acetone, isopropanol ethanol, ethanol and methanol was used to extract the oil yields using a magnetic stirrer. In preliminary study, the influence of yield of extracted oil palm meal (EOPM) was studied on the oil extraction process from DOPM using the various solvents. All the conditions: mass ratio of solvent-to-DOPM of 10:1 ml/g, 300 rpm of stirrer speed, and extraction time of 10 min were used. The results showed that 9.7260 wt.% of highest oil yield was obtained when hexane solvent was used in oil extraction from DOPM. In the second experiment, the co-solvent was used to extract the oil. Hexane was used as a primary solvent for solvent extraction of DOPM with hexane and various solvents as co-solvents. The results showed that 10.4035 wt.% of highest oil yield was achieved with 1:1 ml/ml of hexane-to-ethanol. Subsequently, the organic alcohol of ethanol was used as a primary solvent and it was blended with various solvents for used as the co-solvent. The results showed that 10.7557 wt.% of highest oil yield was obtained with 1:1 ml/ml of ethanol-to-ethyl acetate. Thus, the co-solvent is a promising solvent for oil extraction from DOPM as it is cheaper than the pure hexane.

คำหลัก: กากผลปาล์มน้ำมัน; การสกัดน้ำมัน; ตัวทำละลายร่วม

Keywords: oil palm meal; oil extraction; co-solvent

1. บทนำ

ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm, *Elaeis Guineensis* Jacq.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกกันมากในภาคใต้ของประเทศไทย ปัจจุบันโรงงานที่ผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ 1) โรงงานผลิตน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน (หีบเปียก หรือ Wet Method) และ 2) โรงงานผลิตน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก (หีบแห้ง หรือ Dry Method) ในกระบวนการหีบผลปาล์มน้ำมันของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก ด้วยเครื่องหีบแบบเกลียวอัดเดี่ยว (Single Screw, SC) ซึ่งเป็นการหีบผลปาล์มทั้งผล จะได้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มจากเปลือก และน้ำมันจากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันหรือที่เรียกว่า น้ำมันปาล์มชนิดหีบรวม (Mixed Crude Palm Oil, MCPO) และมีผลพลอยได้ คือ กากผลปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Meal, OPM) ซึ่งส่วนใหญ่จะนำไปขายเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ แต่ใน OPM นั้นยังมีเส้นใยและไขมันตกค้าง มีโปรตีนต่ำ มีกะลาปาล์มปะปนอยู่ มีปริมาณน้ำมันที่ตกค้างอยู่ในกากผลปาล์มน้ำมันมากกว่า 15 % [1] ซึ่งยังไม่ค่อยมีกากนำ OPM มาสกัดน้ำมันอีกครั้ง จึงเป็นประเด็นในการศึกษาการสกัดน้ำมันกากผลปาล์มน้ำมันด้วยวิธีตัวทำละลายซึ่งจะทำให้ได้น้ำมันจากการสกัดรอบที่สองจากกากผลปาล์มน้ำมัน และผลพลอยได้ คือ กากผลปาล์มไขมันต่ำ (Low-Fat Oil Palm Meal, LFOPM) ที่ทำการแยกเศษกะลาปาล์มออกแล้วเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ และการเลือกใช้วิธีตัวทำละลายร่วม (Co-Solvent) ในการสกัดน้ำมัน เพื่อเป็นการลดต้นทุนการใช้ตัวทำละลาย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาปริมาณผลได้ (Yield) ของการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมัน (OPM) ด้วยการใช้ตัวทำละลายร่วม (Co-Solvent) เพื่อหาตัวทำละลายร่วมที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

กากผลปาล์มน้ำมันที่ได้จากโรงงานหีบน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก นำมาทุบและร่อนกะลาส่วนใหญ่ออกด้วยตะแกรงขนาด 2 mm (Mesh Number 10) [2] ความชื้นในกากผลปาล์มน้ำมันประมาณ 4 wt.% จะถูกกำจัดด้วยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 105ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [3] จะได้กากผลปาล์มน้ำมันอบแห้ง (Dried Oil Palm Meal, DOPM)

2.2 ตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันเลือกใช้ตัวทำละลายโดยดูจากค่าความสัมพันธ์คุณสมบัติของการมีขั้ว (Relative Polarity) เรียงจากการมีขั้วน้อยไปมากคือ เฮกเซน (98% Commercial Grade of Hexane), เบนซีน (99.5% Analytical Grade of Benzene), เอทิล อะซิเตท (99.8% Analytical Grade of Ethyl Acetate), อะซิโตน (99.5% Analytical Grade of Acetone), ไอโซโพรพานอล (99.5% Analytical Grade of Isoropanol), เอทานอล (95% Hydrous Ethanol) และเมทานอล (99.9% Hydrous Methanol) [4]

2.3 ขั้นตอนการสกัด

นำกากผลปาล์มน้ำมันอบแห้ง 10 g ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 ml ผสมกับตัวทำละลายในอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายกับกากผลปาล์มน้ำมัน (Mass Ratio of Solvent to DOPM) เท่ากับ 10:1 ml/g จากนั้นใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar) ปิดด้วยกระดาษฟอยล์ผสมสารด้วยเครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer) ที่อุณหภูมิห้อง (30ºC) เปิดเครื่องกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 300 rpm และจับเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาตามกำหนดนำสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรอง W. & R. Balston Ltd. Genuine Whatman No.1 ใส่ขวดรูปชมพู่จะได้สารละลายมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองที่ผสมกับน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันเรียกว่า Misella จากนั้นนำสารละลายไปให้ความร้อนด้วยการระเหยตัวทำละลายออกจาก Misella ที่อุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลายแต่ละชนิด จะได้น้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมัน หลังจากนั้นนำน้ำมันดังกล่าวไปอบที่อุณหภูมิ 105ºC เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำและตัวทำละลายที่อาจหลงเหลืออยู่ระหว่างกระบวนการ เมื่อ

ครบเวลานำขวดรูปชมพู่ออกมารอให้เย็นตัวแล้วนำไปชั่งคำนวณหาน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดจากกากผลปาล์มน้ำมัน (Extracted Oil Palm Meal, EOPM) [5]

รูปที่ 1 กากผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านกระบวนการหีบน้ำมันออกแล้วด้วยเครื่องหีบแบบเกลียวอัดเดี่ยว

รูปที่ 2 กากผลปาล์มน้ำมันอบแห้งที่นำมาทุบและร่อนกะลาส่วนใหญ่ออกด้วยตะแกรงขนาด 2 mm

รูปที่ 3 กากผลปาล์มน้ำมันหลังสกัดน้ำมันออกแล้ว

2.4 วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาปริมาณผลได้ (Yield, *Y*) ของการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมัน สามารถคำนวณปริมาณผลได้ของน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันได้จากสมการที่ 1 [6]

$$Y = (W_o / W_d) \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ Y *คือ* ปริมาณผลได้ของน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมัน (wt.%)

W_o คือ น้ำหนักน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันที่สกัดได้ (g)

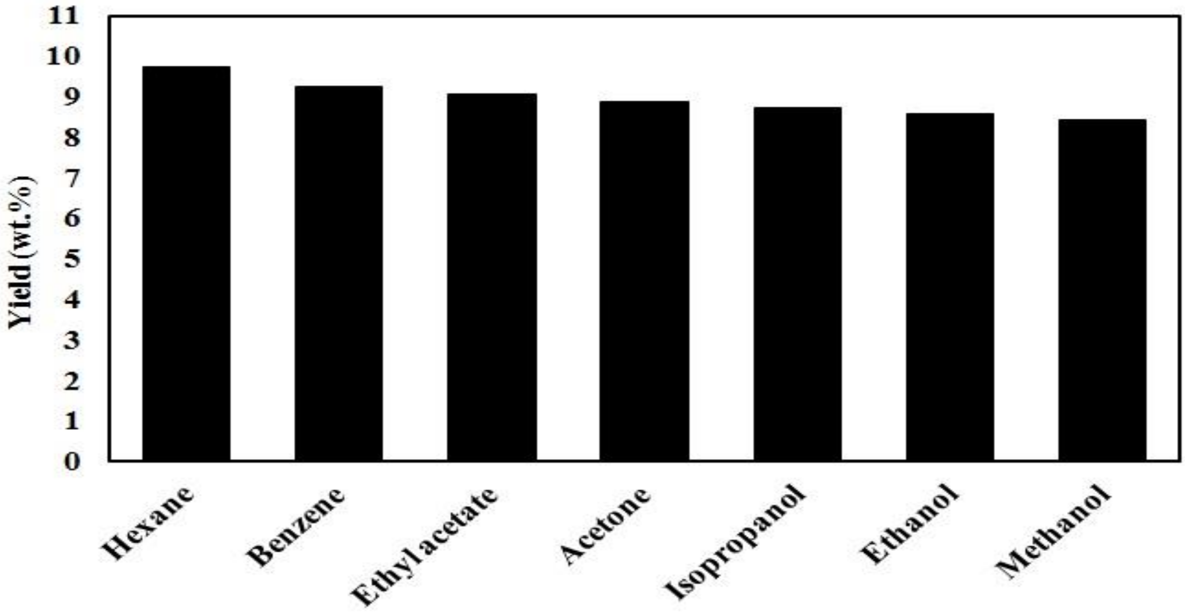
W_d คือ น้ำหนักแห้งของกากผลปาล์มน้ำมันที่ใช้สกัด (g)

3. ผลการวิจัย

3.1 การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิด

รูปที่ 4 แสดงปริมาณผลได้ของการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิด ศึกษาอิทธิพลของตัวทำละลายแต่ละชนิดในการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมัน (OPM) พบว่าเมื่อใช้ เฮกเซน,

เบนซีน, เอทิล อะซิเตท, อะซิโตน, ไอโซโพรพานอล, เอทานอล และเมทานอลสกัดน้ำมันจาก DOPM สามารถสกัดน้ำมันมีปริมาณผลได้เท่ากับ 9.7250 wt.%, 9.2333 wt.%, 9.0483 wt.%, 8.8790 wt.%, 8.7323 wt.%, 8.5800 wt.% และ 8.4097 wt.% ตามลำดับ



รูปที่ 4 แสดงปริมาณผลได้ของการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิด

(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ) (ช)

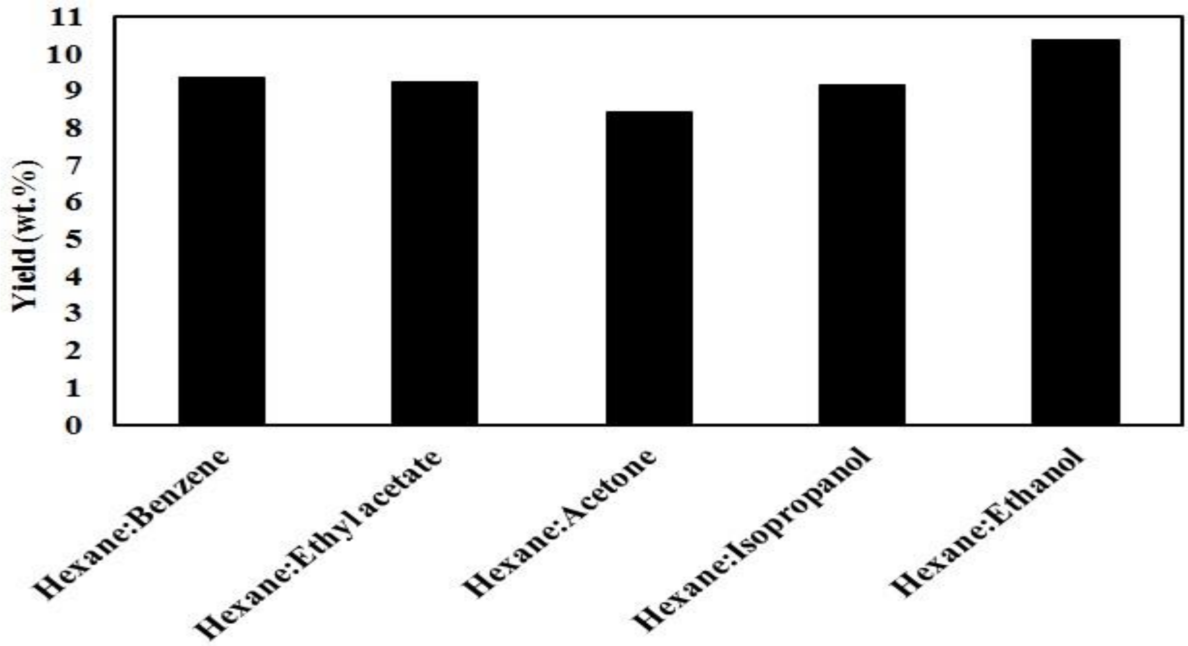
รูปที่ 5 แสดงน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย

(ก) hexane, (ข) benzene, (ค) ethyl acetate, (ง) acetone, (จ) isopropanol, (ฉ) ethanol และ (ช) methanol

3.2 การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายร่วม

3.2.1 การใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายหลัก

จากการทดลองหาปริมาณน้ำมันกากผลปาล์มน้ำมันของตัวทำละลายแต่ละตัวทำให้ทราบว่าเฮกเซนสามารถสกัดน้ำมันได้สูงสุด จึงนำตัวทำละลายเฮกเซนมาเป็นตัวทำละลายหลัก ในการผสมกับตัวทำละลายตัวอื่นในอัตราส่วน 1:1 ml/ml คือ เอทานอล, เบนซีน, เอทิล อะซิเตท, ไอโซโพรพานอล และอะซิโตน ซึ่งได้แสดงผลการทดลองในรูปที่ 6 คือปริมาณผลได้ของการสกัดน้ำมันแบบตัวทำละลายร่วมโดยมีเฮกเซนเป็นตัวทำละลายหลัก พบว่า เมื่อใช้ เฮกเซน:เอทานอล, เฮกเซน:เบนซีน, เฮกเซน:เอทิล อะซิเตท, เฮกเซน:ไอโซโพรพานอล และเฮกเซน:อะซิโตนสกัดน้ำมันจาก DOPM จะสามารถสกัดน้ำมันซึ่งมีปริมาณผลได้เท่ากับ 10.4035 wt.%, 9.3763 wt.%, 9.2560 wt.%, 9.1560 wt.% และ 8.4403 wt.% ตามลำดับ ในการทดลองนี้จะมีข้อมูลเพียง 5 อัตราส่วน เนื่องจากตัวทำละลายเฮกเซนและเมทานอลไม่สามารถละลายผสมเข้ากันได้ [7] จึงไม่ได้ทำการทดลองในตัวทำละลายนี้

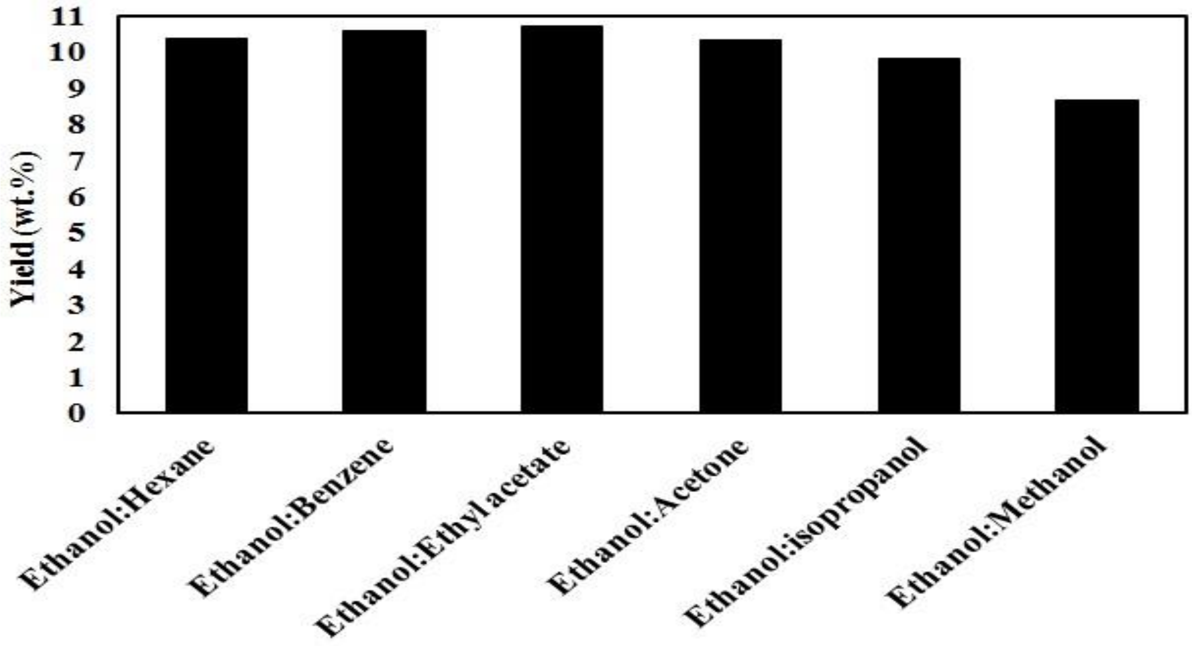


รูปที่ 6 แสดงปริมาณผลได้ของการสกัดน้ำมันแบบตัวทำละลายร่วมโดยมีเฮกเซนเป็นตัวทำละลายหลัก

รูปที่ 7 แสดงน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย
(ก) hexane:benzene, (ข) hexane:ethyl acetate, (ค) hexane:acetone, (ง) hexane:isopropanol, (จ) hexane:ethanol

3.2.2 การใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายหลัก

เนื่องด้วยตัวทำละลายเอทานอลมีราคาถูกกว่าตัวทำละลายเฮกเซน และผลิตได้จากผลิตผลทางการเกษตรภายในประเทศ จึงนำตัวทำละลายเอทานอลมาเป็นตัวทำละลายหลัก ในการผสมกับตัวทำละลายตัวอื่นในอัตราส่วน 1:1 ml/ml คือ เอทิล อะซิเตท, เบนซีน, เฮกเซน, อะซิโตน, ไอโซโพรพานอล และเมทานอล แล้วสกัดตามวิธีการสกัดเดิม รูปที่ 8 แสดงปริมาณผลได้ของการสกัดน้ำมันแบบตัวทำละลายร่วมโดยมีเอทานอลเป็นตัวทำละลายหลัก พบว่าเมื่อใช้ เอทานอล:เอทิล อะซิเตท, เอทานอล:เบนซีน, เอทานอล:เฮกเซน, เอทานอล:อะซิโตน, เอทานอล:ไอโซโพรพานอลและเอทานอล:เมทานอลสกัดน้ำมันจาก DOPM จะได้ปริมาณผลได้เท่ากับ 10.7557 wt.%, 10.5980 wt.%, 10.4035 wt.%, 10.3667 wt.%, 9.8350 wt.% และ 8.6683 wt.% ตามลำดับ



รูปที่ 8 แสดงปริมาณผลได้ของการสกัดน้ำมันแบบตัวทำละลายร่วมโดยมีเอทานอลเป็นตัวทำละลายหลัก

(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ)

รูปที่ 9 แสดงน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย

(ก) ethanol:hexane, (ข) ethanol:benzene, (ค) ethanol:ethyl acetate, (ง) ethanol:acetone, (จ) ethanol:isopropanol, (ฉ) ethanol:methanol

4. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ 3.2.1 การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิด ตัวทำละลายเฮกเซนสามารถสกัดน้ำมันได้ดีที่สุด เพราะเป็นสารจำพวก Non-Polar จะสามารถสกัดน้ำมันได้ดีกว่าสารจำพวก Polar [6,8] ซึ่งสามารถดูการมีขั้วมากน้อยได้จากค่า Relative Polarity [4] จากการทดลองที่ 3.2.2 การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายร่วม โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายหลัก เฮกเซน:เอทานอล สกัดน้ำมันได้สูงที่สุด แต่ เฮกเซน:อะซิโตน สกัดน้ำมันได้ค่าปริมาณผลได้น้อยที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการสกัดน้ำมัน [9] คือในขั้นตอนการผสมตัวทำละลายเฮกเซนและอะซิโตน เกิดไอน้ำเย็นบริเวณบีกเกอร์คาดว่าเกิดการดูดความร้อนของตัวละลายทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องคือประมาณ 24 °C ซึ่งตัวทำละลายอื่นไม่เกิดลักษณะนี้ จึงสกัดน้ำมันได้น้อยกว่าตัวทำละลายอื่นๆจากการทดลองที่ 3.2.3 การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายร่วม โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายหลัก เอทานอล:เอทิล อะซิเตท สกัดน้ำมันได้สูงสุดและ เอทานอล:เมทานอลสกัดน้ำมันได้น้อยที่สุด ซึ่งตัวทำละลายเฮกเซนมีราคาประมาณ 50 บาท/ลิตร (98% Commercial Grade of Hexane), ตัวทำละลายเอทานอลมีราคาประมาณ 24.2 บาท/ลิตร (95% Hydrous Ethanol) (ธนาคารแห่งประเทศไทย, รายงานสถานการณ์ราคาเอทานอลของไทย 2559) และตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท 255 บาท/ลิตร (99.8% Analytical Grade of Ethyl Acetate) จากการศึกษาการใช้ตัวทำละลายร่วมในการสกัดน้ำมันในครั้งนี้จะพบว่าปริมาณผลได้ของตัวทำละลายร่วม เฮกเซน:เอทานอล มีปริมาณผลได้ที่แตกต่างกันกับ เอทานอล:เอทิล อะซิเตท ประมาณ 4% แต่เนื่องจากราคาของ เฮกเซน:เอทานอล มีราคาที่ถูกกว่าเอทานอล:เอทิล อะซิเตท อยู่มาก จึงสนใจที่จะเลือกใช้ตัวทำละลายร่วม เฮกเซน:เอทานอล ในการสกัดน้ำมัน ทั้งนี้จะต้องนำน้ำมันที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของประเภทกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid Profile) ภายในน้ำมันต่อไป

5. สรุป

จากการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลายแต่ละชนิดนั้น พบว่าตัวทำละลายที่สามารถสกัดน้ำมันได้ดีสุดคือ เฮกเซนน้อยสุดคือ เมทานอล มีปริมาณผลได้ของน้ำมันเท่ากับ 9.7250 wt.% และ 8.4097 wt.% ตามลำดับ ดังนั้นในกรณีการใช้วิธีตัวทำละลายร่วมในการสกัดน้ำมันจากกากผลปาล์มน้ำมันจึงเลือกใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเป็นตัวทำละลายหลักเนื่องจากสามารถสกัดน้ำมันได้สูงสุด พบว่าตัวทำละลายร่วมที่สามารถสกัดน้ำมันได้ปริมาณมากสุดคือ

เฮกเซน:เอทานอล และปริมาณน้อยที่สุดคือ เอกเซน:อะ-ซิโตน มีปริมาณผลได้คือ 10.4035 wt.% และ 8.4403 wt.% ตามลำดับ จากกรณีที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลเป็นตัวทำละลายหลักเนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่มีราคาถูกที่สุดพบว่าตัวทำละลายร่วมที่สามารถสกัดน้ำมันได้ปริมาณสูงสุดคือ เอทานอล:เอทิล อะซิเตท และปริมาณน้อยที่สุดคือ เอทานอล:เมทานอล มีปริมาณผลได้คือ 10.7557 wt.% และ 8.6683 wt.% ตามลำดับ แต่เนื่องจากราคาของ เฮกเซน:เอทานอล มีราคาที่ถูกกว่า เอทานอล:เอทิล อะซิเตท อยู่มากและปริมาณผลได้ไม่ได้แตกต่างกันมาก จึงสนใจที่จะเลือกใช้ตัวทำละลายร่วม เฮกเซน:เอทานอล ในการสกัดน้ำมัน อย่างไรก็ตามต้องนำน้ำมันที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์องค์ประกอบของประเภทกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid Profile) ในน้ำมันกากผลปาล์มน้ำมัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพน้ำมันจากการสกัดด้วยตัวทำละลายร่วม

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัยและสนับสนุนทุนวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ NAT581217a

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ปิ่นจันจุฑา. (2558). **การพัฒนาและการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการปลูกปาล์มน้ำมันและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อเป็นอาหารสัตว์: 2. การใช้ประโยชน์ของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันสาหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง**. Songklanakarin Journal of Plant Science, Vol.2, No.1 (April-June): 1-16.

[2] Reshad et al. (2015). **Extraction of Oil from Rubber Seeds for Biodiesel Application: Optimization of Parameters**.*Fuel* 150: 636–44.

[3] Rocha et al. (2014). **Ultrasound-Assisted Production of Biodiesel and Ethanol from Spent Coffee Grounds**.*Bioresource Technology* 167: 343–48.

[4] Properties of Organic Solvents[ออนไลน์], แหล่งที่มา https://sites.google.com/site/miller00828/in/solvent-polarity-table

[5] เจริญพร ถาวรประเสริฐ และคณะ. (2558). **การศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายและระยะเวลาสกัด**. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8: 390-392**.**

[6] Al-Hamamre et al. (2012). **Oil Extracted from Spent Coffee Grounds as a Renewable Source for Fatty Acid Methyl Ester Manufacturing**. *Fuel* 96: 70–76.

[7] SIGMA-ALDRICH [ออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.sigmaaldrich.com/chemistry/solvents.html

[8] Malekzadeh et al. (2016). **Experimental study and thermodynamic modeling for determining the effect of non-polar solvent (hexane)/polar solvent (methanol) ratio and moisture content on the lipid extraction efficiency from Chlorella vulgaris**. *Bioresource Thchnology* 201: 304-311.

[9] Jesus et al. (2013). **Extraction of palm oil using propane, ethanol and its mixtures as compressed sovent**. *The Journal of Supercritical Fluids* 81: 245-253.

[10] ธรณินทร์ไชยเรืองศรี. (2549). **การสกัดของแข็ง-ของเหลว: Solid-Liquid Extraction**. โอเดียนสโตร์กรุงเทพฯ. หน้า 2-17.

[11] Chen et al. (2012). **Subcritical co-solvents**

extraction of lipid from wet microalgae pastes of Nannochloropsis sp. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 114: 205-212.

[12] AAFCO (2014). **Crude Fat Methods - Considerations [on-line].** Available : http://www.aafco.org/Portals/0/SiteContent/Laboratory/Fat_Best_Practices_Working_Group/Crude_Fat_Methods_Considerations.pdf

ผลของเมทานอลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา

The effect of methanol on biodiesel production from Yang na oil

ปรียา แก้วนารี[1,2*] ธนินนุช อันทลาสี[1], นงนรินทร์ รัตนวงศ์[1]และไพโรจน์ วงศ์หนายโกฏ

Preeya Kaewnaree[1,2*], Taninnoot Untalasri[1],Nongnarin Rattanawong[1] and Pairoj Wongnaikote[3]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เลขที่ 64 ถนนทหาร อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

[2] หน่วยวิจัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เลขที่ 64 ถนนทหาร อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

[3] ตำบลพิมาน อำเภอนาแก จังหวัดนครพนม

[1]Renewable Energy Research Unit, UdonThaniRajabhat University, 64 Tahan Road MuangUdonThani 41000

[2]Department of Biotechnology, Faculty of Technology, UdonThaniRajabhat University, 64 Tahan Road MuangUdonThani 41000

[3]Piman Subdristict, NakhaeDristict, NakhonPhamom Province, 41000

*preeyaka2558@gmail.com, 081-0499579, Fax 042-221978

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะในการผลิตไบโอดีเซล คือ ปริมาณน้ำมันยางนา ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิที่เหมาะในการเกิดปฏิกิริยา(ที่อุณหภูมิ 55 60 และ 65 องศาเซลเซียส)พบว่าสภาวะที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2% wt. เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 60องศาเซลเซียส ได้ปริมาณไบโอดีเซลมากที่สุด เมื่อศึกษาปริมาณน้ำมันยางนาที่เหมาะสม และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา ปริมาณน้ำมันยางนาต่อตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.00 กรัม ต่อน้ำมันยางนา 100ml ใช้อัตราการกวน 500rpm และเวลาที่ทำปฏิกิริยา 15 min ปฏิกิริยาเกิดได้ไบโอดีเซล 83.33 ml เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติ พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้ มีความหนืด 6.15 ทั้งหมด ส่วนจุดวาบไฟ 110 องศาเซลเซียส และความหนาแน่น 906 kg/m^3เมื่อเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลมาตรฐาน จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติใกล้เคียงกับไบโอดีเซลมาตรฐาน และค่าความหนาแน่นสูงกว่าไบโอดีเซลมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวสามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพได้ ดังนั้นน้ำมันยางนาเป็นพืชพลังงานชนิดใหม่ที่สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกในอนาคตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ผลิตไบโอดีเซลชุมชน

Abstract

The study was investigated the optimum conditions for biodiesel production from yang naoil . The effect of parameter, yang na oil content, catalyst KOH reaction time and reduction temperature (55 60 and 65 ºC) were studied. The effect of catalyst found that the highest volume of biodiesel was obtained when KOH used was 2% wt. as catalyst at 60 ºC. The optimum condition for biodiesel production was obtained under the condition of yang na oil to KOH radio 100 ml : 2g agitation rate 500 rpm and reduction time 15 min which 83.33 ml of biodiesel was achieved. The characteristic of biodiesel found that kinematic viscosity 6.15 mm^2/s, flash point 110 ºC and density906 kg/m^3 which to be acceptable according to the ASTM standard of biodiesel specification . This research indicated that yang na oil is appropriate for used as alternative energy plant, especially to produce biodiesel of community.

คำหลัก:น้ำมันยางนา ไบโอดีเซลตัวเร่งปฏิกิริยา

Keywords: Yang na oil, biodiesel, catalyst

1.บทนำ

พลังงานถือได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอันดับต้นๆ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ พลังงานปิโตรเลียมเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มนุษย์รู้จักกันดี และถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย จากปัญหาราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ได้ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อภาคเศรษฐกิจโดยรวม และอาจเป็นอุปสรรคต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศในปัจจุบันและอนาคต ทั้งนี้เพราะประเทศไทยมีแหล่งน้ำมันดิบไม่เพียงพอกับความต้องการ ทำให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ ขณะที่ความต้องการมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลที่ใช้ในภาคขนส่งเป็นหลักทำให้มีการมองหาพลังงานทางเลือก ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลเป็นน้ำมันทางเลือกใหม่ โดยน้ำมันชนิดนี้เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์แล้วพบว่ามีคุณสมบัติในการเผาไหม้ได้ดีไม่ต่างจากน้ำมันจากปิโตรเลียมแต่มีข้อดีกว่าหลายอย่าง คือ มีการเผาไหม้ที่สะอาดกว่า ไอเสียมีคุณภาพที่ดีกว่า เพราะออกซิเจนในไบโอดีเซลทำให้มีการสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลปกติ จึงมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่า และเนื่องจากไม่มีกำมะถันในไบโอดีเซลจึงไม่มีปัญหาสารซัลเฟต นอกจากนี้ยังมีเขม่าคาร์บอนน้อยไม่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบไอเสีย และช่วยยืดอายุการใช้งานเครื่องยนต์ได้เป็นอย่างดีไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันจากพืช หรือไขมันจากสัตว์ เช่น ปาล์ม มะพร้าว ถั่วเหลือง ทานตะวัน เมล็ดเรพ (rape seed) สบู่ดำ หรือ น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ ที่ใช้แล้ว และยางนาซึ่งยางนา ถือว่าเป็นพืชที่มีในท้องถิ่นของไทยโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งยางนามีคุณสมบัติมากมาย ในทุกส่วนของต้นยางนาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะตำบลพิมาน อำเภอนาแก จังนครพนม มีป่าชุมชนแปลงหนึ่ง ชื่อป่าดอนนายาง มีพื้นที่ 37 ไร่ เป็นป่าที่บรรพบุรุษได้กำหนดกติกาให้ใช้แบบยั่งยืน จนคงอยู่ถึงปัจจุบัน ลักษณะป่าเป็นป่าที่มีไม้หลายชนิดและมีต้นยางนาจำนวนมาก ประมาณ 1,250 ต้น และมีต้นยางนาที่มีขนาดเหมาะสมมี่สามารถให้น้ำมันยาง จำนวน 800 ต้น มีขนาดเส้นรอบวง 80 เซนติเมตรขึ้นไป มีอายุ14-50ปี ในสมัยก่อน ชาวบ้านจะนำน้ำมันยางนาผสมกับไม้ผุ ๆ แล้วห่อด้วยใบไม้ มัดด้วยตอกนำมาจุดให้แสงสว่าง เนื่องจากในพื้นที่ชุมชนมีต้นยางนาจำนวนมาก และมีภูมิปัญญาในการสกัดน้ำมัน ในปี 2558 ชุมชนจึงได้ทดลองเจาะน้ำยางนามาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน พบว่าน้ำมันยางยาสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ จากนั้นจึงได้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกยางนาตามพื้นที่หัวไร่ปลายนาชุมชนได้เข้าร่วมอบรมหลักสูตรพลังงานเพื่อชุมชน ทำให้เกิดแนวคิด โดยการนำน้ำมันยางนามาทดลองใช้ในรถยนต์ที่มีความเร็วรอบต่ำ เช่น รถไถนา ปรากฏว่าสามารถขับเคลื่อนไปได้โดยปกติ ซึ่งถือเป็นพืชน้ำมันทางเลือกใหม่ เป็นแหล่งน้ำมันบนดินที่จะนำมาต่อยอดสู่งานวิจัยให้มีความเป็นไปได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิงใช้เป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพ ที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดีและส่งผลดีต่อพลังงานในอนาคต ต้นยางนาที่จะนำมาสกัดน้ำมันนั้นต้องมีอายุมากกว่า 25 ปี โดยใช้วิธีเจาะลำต้นด้วยสว่านไฟฟ้า หรือ สว่านเจาะไม้ เจาะบริเวณลำต้นสูงจากพื้นประมาณ 50 เซนติเมตร เจาะลึกเข้าไปประมาณ 20 เซนติเมตรในมุมชี้ขึ้นไป 40-45 องศา จะได้น้ำมันยางนาประมาณ 400 มล/รู/วัน หลังจากนั้นนำมาผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสนใจศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ใช้ตัวทำปฏิกิริยาเมทานอล และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นด่างซึ่งได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันยางนามาผลิตเป็นไบโอดีเซล โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมได้แก่ ปริมาณน้ำมันยางนา ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลจากยางนาที่มีปริมาณและมีคุณภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานของชุมชนต่อไป และได้ไบโอดีเซลคุณภาพดีเทียบกับไบโอดีเซลมาตรฐาน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา

2.2เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา

3.วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1วัตถุดิบน้ำมันยางนา จากศูนย์เศรษฐกิจพอเพียง ตำบลพิมาน อำเภอนาแก จังหวัดนครพนม ประเทศไทย

3.2วิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 ขั้นตอนการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาโดยศึกษา 4 สภาวะ คือศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณ 2.00 2.50 และ 3.00 กรัม ศึกษาปริมาณของน้ำมันที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลที่ปริมาตร 50 75 และ 100 มิลลิลิตร ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลที่ 15 20 และ 25 นาที และ ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลที่ 55 60 และ 65 องศาเซลเซียส

1. เตรียมน้ำมันยางนาปริมาตร100มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์อุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ60องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นเวลา15นาทีเพื่อให้ความร้อนทั่วถึง

2. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)2 กรัมละลายในเมทานอลและปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเป็น100มิลลิลิตร

3. เติมสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ2ลงในน้ำมันที่อุ่นไว้จากข้อ1กวนให้เข้ากันอย่างทั่วถึงด้วยความเร็ว500รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ60องศาเซลเซียสเป็นเวลา15นาทีสีของน้ำมันจะเปลี่ยนโดยจะมีสีเข้มขึ้นไม่ขุ่น

4. นำไปเทลงในกรวยแยกตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา10-20นาทีจะเกิดการแยกชั้นเป็นสองชั้นโดยชั้นบนคือไบโอดีเซลส่วนชั้นล่างคือกลีเซอรีนแยกชั้นกลีเซอรีนออก

5. ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ55องศาเซลเซียสครั้งละ100มิลลิลิตรจนค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำล้างมีค่าเท่ากับ7และวัดปริมาตรไบโอดีเซลที่ได้

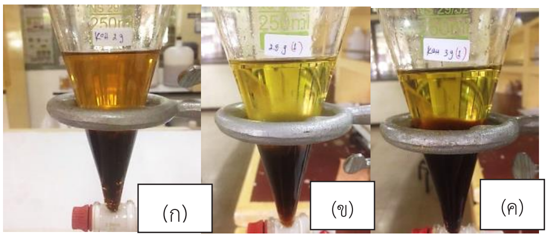
6. นำไบโอดีเซลที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติ

4. ผลการทดลอง

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาโดยมีเมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ปริมาตรน้ำมันที่ใช้ทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเมทานอล

4.1 ผลการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อติดตามการแยกชั้นของไบโอดีเซลกับกลีเซอรีน ปริมาตรของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนที่ได้หลังทำปฏิกิริยา จากการทดลองใช้น้ำมันยางนาปริมาตร 100 มิลลิลิตร อุ่นน้ำมันยางนาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเร่งปฏิกิริยาด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)2.002.50 และ 3.00 กรัมตามลำดับละลายในเมทานอลและปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเป็น 100 มิลลิลิตรเติมลงในน้ำมันยางนาเพื่อทำปฏิกิริยาโดยกวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ติดตามการแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรีน ปริมาตรของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนที่ได้และนำไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลมาตรฐาน จากผลการทดลองพบว่าเกิดไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ การแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนแยกชั้นได้ดีทั้ง 3 สภาวะ ผลดังรูปที่ 1 ได้ปริมาตรไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ คือ 80.00 72.33 และ 68.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรกลีเซอรีนที่ได้ คือ 15.01 19.74 และ 20.35 กรัม ตามลำดับ พบว่าสภาวะการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.00 กรัม ได้ปริมาตรไบโอดีเซลสูงที่สุด คือ 80.00 มิลลิลิตร แสดงว่าที่สภาวะการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.00 กรัม ในสารละลายเมทานอล100 มิลลิลิตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา ซึ่งจะใช้เป็นสภาวะในการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในข้อ 4.2



รูปที่ 1 ไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยาที่ใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาโดยมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) 2.00 กรัม (ข) 2.50 กรัม และ (ค) 3.00 กรัม

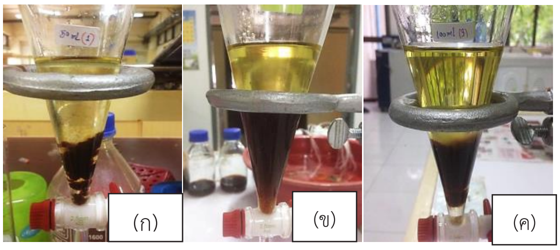
จะเห็นได้ว่า เมื่อคำนวณผลได้ของไบโอดีเซลคิดเป็น 80.00 72.33 และ 68.33 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.00 กรัม ได้ผลได้ไบโอดีเซลมากที่สุดรองลงมาคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.50 กรัม และต่ำที่สุดคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3.00 กรัม

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาตรน้ำมันยางนา (มิลลิลิตร)	ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)	ปริมาตรผลผลิตที่แยกได้หลังทำปฏิกิริยา		ไบโอดีเซลที่ได้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
KOH			กลีเซอรีน (กรัม)	ไบโอดีเซล (มิลลิลิตร)	
	100	2.00	15.01	80.00	80.00
	100	2.50	19.74	72.33	72.33
	100	3.00	20.35	68.33	68.33

4.2 การศึกษาปริมาตรของน้ำมันที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อติดตามการแยกชั้นของไบโอดีเซลกับกลีเซอรีน ปริมาตรของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนที่ได้หลังทำปฏิกิริยา จากการทดลองใช้น้ำมันยางนาปริมาตร 50 75 และ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ อุ่นน้ำมันยางนาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเร่งปฏิกิริยาด้วยสารละลายโพแทสเซียมเมททรอกไซด์ ที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 2.00 กรัม ละลายในเมทานอล และปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเป็น 100 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำมันยางนาเพื่อทำปฏิกิริยาโดยกวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ติดตามการแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรีน ปริมาตรของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนที่ได้และนำไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลมาตรฐาน จากผลการทดลองพบว่า เกิด ไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ การแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนแยกชั้นได้ดีทั้ง 3 สภาวะ ผลดังรูปที่ 2 ได้ปริมาตรไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ คือ 43.33 64.66 และ 77.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรกลีเซอรีนที่ได้ คือ 4.07 8.81 และ 12.87กรัม ตามลำดับ พบว่าปริมาตรน้ำมัน 100 มิลลิลิตร ได้ปริมาตร ไบโอดีเซลสูงที่สุด คือ 77.00 มิลลิลิตร แสดงว่าที่ปริมาตรน้ำมัน 100 มิลลิลิตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา ซึ่งจะใช้เป็นสภาวะในการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในข้อ 4.3



รูปที่ 2 การแยกชั้นของไบโอดีเซลโดยใช้ปริมาตรน้ำมันยางนา 3 ระดับก) 50 มิลลิลิตร (ข) 75 มิลลิลิตร และ (ค) 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

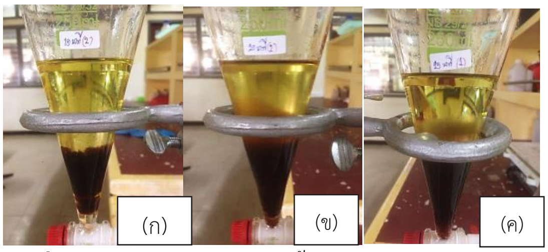
จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำมันยางนามากขึ้นจะได้ปริมาณไบโอดีเซลมากขึ้น เมื่อคำนวณผลได้ของไบโอดีเซลคิดเป็น 43.33 64.66 และ 77.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ ปริมาตรน้ำมันยางนา 100 มิลลิลิตร ได้ผลได้ไบโอดีเซลมากที่สุด รองลงมา คือ ปริมาตรน้ำมันยางนา 75 มิลลิลิตร และต่ำที่สุด คือ ปริมาตรน้ำมันปาล์ม 50 มิลลิลิตร

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาปริมาตรน้ำมันที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาตรน้ำมันยางนา (มิลลิลิตร)	ปริมาตรผลผลิตที่แยกได้หลังทำปฏิกิริยา		ผลได้ไบโอดีเซลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์
		ปริมาตรกลีเซอรีน (กรัม)	ปริมาตรไบโอดีเซล (มิลลิลิตร)	
KOH	50	4.07	43.33	86.66
	75	8.81	64.66	86.21
	100	12.87	77.00	77.00

4.2 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเมทานอล

การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อติดตามการแยกชั้นของไบโอดีเซลกับกลีเซอรีน ปริมาตรของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนที่ได้หลังทำปฏิกิริยา จากการทดลองใช้น้ำมันยางนาปริมาตร 100 มิลลิลิตร อุ่นน้ำมันยางนาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเร่งปฏิกิริยาด้วยสารละลายโพแทสเซียมเมททรอกไซด์ ที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 2.00 กรัม ละลายในเมทานอล และปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเป็น 100 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำมันยางนา เพื่อทำปฏิกิริยาโดยกวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1520 และ 25 นาทีตามลำดับ ติดตามการแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรีน ปริมาตรของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนที่ได้และนำไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลมาตรฐาน จากผลการทดลองพบว่า เกิดไบโอดีเซลได้ดีทั้ง 3 สภาวะการแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนแยกชั้นได้ดีทั้ง3 สภาวะ ผลดังภาพที่ 3 ได้ปริมาตรไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ คือ 80.00 72.66 และ 65.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรกลีเซอรีนที่ได้ คือ 15.03 16.37 และ 17.07 กรัม ตามลำดับ พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยา คือ 15 นาที ได้ปริมาตรไบโอดีเซลสูงที่สุด คือ 80.00 มิลลิลิตร แสดงว่าที่เวลา 15 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา ซึ่งจะใช้เป็นสภาวะในการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในข้อ 4.4



รูปที่ 3เปรียบเทียบการแยกชั้นของไบโอดีเซลโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ระดับ(ก) 15 นาที (ข) 20 นาที และ (ค) 25 นาที ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า เมื่อคำนวณผลได้ของไบโอดีเซลคิดเป็น 80.00 72.66 และ 65.33 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ เวลาที่ใช้เร่งปฏิกิริยา 15 นาที ได้ผลได้ไบโอดีเซลมากที่สุด รองลงมา คือ เวลา 20 นาที และต่ำที่สุด คือ เวลา 25 นาที

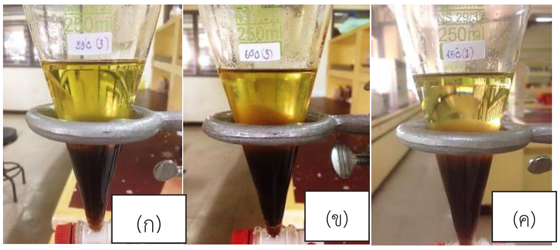
ตารางที่ 3 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา	เวลา (นาที)	ปริมาตรผลผลิตที่แยกได้หลังทำปฏิกิริยา		ผลได้ไบโอดีเซลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์
		ปริมาตรกลีเซอรีน (กรัม)	ปริมาตรไบโอดีเซล (มิลลิลิตร)	
KOH	15	15.03	80.00	80.00
	20	16.37	72.66	72.66
	25	17.07	65.33	65.33

4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเมทานอล

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อติดตามการแยกชั้นของไบโอดีเซลกับกลีเซอรีน ปริมาตรของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนที่ได้หลังทำปฏิกิริยา จากการทดลองใช้น้ำมันยางนาปริมาตร 100 มิลลิลิตร อุ่นน้ำมันยางนาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเร่งปฏิกิริยาด้วยสารละลายโพแทสเซียมเมททรอกไซด์ ที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์2.00 กรัม ละลายในเมทานอล และปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเป็น 100 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำมันยางนาเพื่อทำปฏิกิริยาโดยกวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 5560 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็น

เวลา 15 นาทีติดตามการแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรีน ปริมาตรของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนที่ได้และนำไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลมาตรฐาน จากผลการทดลองพบว่า เกิดไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะการแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรีนแยกชั้นได้ดีทั้ง 3 สภาวะ ผลดังรูปที่ 4 ได้ปริมาตรไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ คือ 62.00 83.33 และ 70.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรกลีเซอรีนที่ได้ คือ 14.57 9.53 และ 12.08 กรัม ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส ได้ผลได้ไบโอดีเซลสูงที่สุด ได้ปริมาตรไบโอดีเซลรองลงมาคือ การทำปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส และต่ำที่สุดคือ 55 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือ 60 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา ซึ่งจะใช้เป็นสภาวะในการศึกษาการผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 4เปรียบเทียบการแยกชั้นของไบโอดีเซลโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ระดับ(ก) 55 องศาเซลเซียส(ข) 60 องศาเซลเซียส และ (ค) 65 องศาเซลเซียส

จะเห็นได้ว่า เมื่อคำนวณผลได้ของไบโอดีเซลคิดเป็น 62.00 83.33 และ 70.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ อุณหภูมิที่ใช้เร่งปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส ได้ผลได้ไบโอดีเซลมากที่สุด รองลงมา คือ 65 องศาเซลเซียส และต่ำที่สุด คือ 55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเมทานอล

ตัวเร่งปฏิกิริยา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาตรผลผลิตที่แยกได้หลังทำปฏิกิริยา		ผลได้ไบโอดีเซลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์
		ปริมาตรกลีเซอรีน (กรัม)	ปริมาตรไบโอดีเซล (มิลลิลิตร)	
KOH	55	14.57	62.00	62.00
	60	9.53	83.33	83.33
	65	12.08	70.00	70.00

เครื่องวัดความหนืดแบบ(Saybolt Viscometer)การวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลใช้เครื่องไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)และการวิเคราะห์จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลใช้เครื่องวัดจุดวาบไฟ (Digital Electric Pensky-Martens)

5. ผลการวิเคราะห์

คุณสมบัติบางประการของไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น และจุดวาบไฟ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5คุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลมาตรฐาน

คุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา	ไบโอดีเซลมาตรฐาน (ASTM)	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์
ความหนืด (ที่ 40 องศาเซลเซียส)	1.6-6.00	6.15
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	860-900	906
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	69.2-152	110

6. อภิปรายผล

มีงานวิจัยหลายฉบับที่ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันZakaria man และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนที่สองของการผลิตไบโอดีเซล

จากน้ำมันปาล์มดิบ(Crude palm oil) โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาในปฏิกิริยา เอสเทอริฟิเคชั่นสามารถผลิตไบโอดีเซล โดยวัดได้เป็น 82.1 % อัตราการกวน 600 rpm ใช้อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงจากการศึกษาของ E. Rashtizadehและคณะ (2010) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 45 %wt ได้สภาวะที่เหมาะสมของ % KOH , ปริมาณตัวเร่ง, เวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิที่เหมาะสม อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน ได้ผลได้ไบโอดีเซลสูงสุด 99 % และพบว่าการศึกษาของ Felycia Edi Soetaredjoและคณะ (2011) ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับเบนโทไนท์ ในการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่น ใช้อัตราส่วน ระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับเบนโทไนท์1:20, 1:10, 1:5, 1:4, 1:3 และ 1:2 ได้ผลได้ไบโอดีเซลสูงที่สุดที่ 90.70 ± 2.47 % ที่อัตราส่วนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับเบนโทไนท์1:4 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา3 % และอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากงานวิจัยครั้งนี้จะเห็นได้ว่า การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาได้ พบว่าผลได้ไบโอดีเซลสูงที่สุดที่สภาวะที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา2 กรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสใช้เวลา 15 นาที ในปริมาณน้ำมันยางนา 100 มิลลิลิตร จะเห็นได้ว่าสภาวะการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันต่างชนิดกันจะใช้สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นแตกต่างกันดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6การเปรียบเทียบสภาวะการผลิตไบโอดีเซล

งานวิจัย	ชนิดน้ำมัน	KOH ตัวเร่งปฏิกิริยา	อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา	ผลได้ (%)
E.Rashtizadehc และคณะ (2010)	ถั่วเหลือง	6.52 %	393 K	2.5 h	98
Zakaria Man และคณะ (2013)	ปาล์ม	1.2 mg /g oil	170	3 h	82.1
Felyciaและคณะ (2011)	ปาล์ม	3% wt.	60	3 h	90.70
Chen และ คณะ (2010)	มะเยาหิน	1-3%	40-60	2 h	90
Alamuและคณะ (2008)	ปาล์ม	1%	60	2h	96
งานวิจัยนี้	น้ำมันยางนา	2%wt.	60	15 min	83

7. สรุปผลการทดลอง

น้ำมันยางนาสามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้โดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาเป็นเมทานอลและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอไซด์ ซึ่งจากการศึกษาได้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน คือ ใช้ปริมาณน้ำมันยางนา 100 มิลลิลิตร ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกซ์ 2 กรัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณไบโอดีเซลสูงที่สุด 83.33 มิลลิลิตร คิดเป็นผลได้ไบโอดีเซลร้อยละ 83.33 และได้ไบโอดีเซลมีลักษณะสีเหลืองใส และเมื่อเทียบคุณสมบัติบางประการกับไบโอดีเซลมาตรฐานพบว่าอยู่ในมาตรฐาน

8. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่า ยางนาสามารใช้ผลิตไบโอดีเซลได้ ซึ่งควรวิจัยต่อยอดในการนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์ เพื่อให้เหมาะแก่การใช้เป็นพลังงานชุมชน และหาสารอื่นที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาและตัวเร่งชนิดใหม่ ได้แก่โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือตัวทำละลายที่เป็นเอทานอล เนื่องจากสามารผลิตขึ้นเองได้ในชุมชน

9. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่สนับสนุนทุนวิจัยครั้งนี้ หน่วยวิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์เศรษฐกิจพอเพียง ตำบลพิมาน อำเภอนาแก จังหวัดนครพนม ที่อนุเคราะห์น้ำมันยางนาเป็นวัตถุดิบในงานวิจัยและสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ที่ได้อนุเคราะห์ใช้สถานที่และเครื่องมือในการทดสอบ

10. เอกสารอ้างอิง

[1] E. Rashtizadeh , F. Farzaneh , M. Ghandi (2010). A comparative study of KOH loaded on double aluminosilicate layers, microporous and mesoporous materials as catalyst for biodiesel production via transesterification of soybean oil. Fuel vol 89, pp. 3393–3398

[2]Felycia Edi Soetaredjo ,AningAyucitra, SuryadiIsmadji, Anastasia LidyaMaukar (2011). KOH/bentonite catalysts for transesterification of palm oil to biodiesel. Applied Clay Science vol 53, pp.341–346

[3] Vishal Mutreja, Satnam Singh*, Amjad Ali, (2011). Biodiesel from mutton fat using KOH impregnated MgO as heterogeneous catalysts. Renewable Energy vol 36, pp.2253-2258

[4] ZakariaMana, Yasir A. Elsheikhb, M. AzmiBustama, SuzanaYusupa, M.I. Abdul Mutaliba,
Nawshad Muhammad (2013). A Br๘nsted ammonium ionic liquid-KOH two-stage catalyst for biodiesel synthesis from crude palm oil.Industrial Crops and Products vol 41, pp.144– 149

[5] Chen (2010)Biodiesel production from tung*(Verniciamontana)* oil and its blending properties in different fatty acid compositions.Vol 87,pp 1529-1533.

[6] Chen, Y-H., Chen, J-H., Chang, C-Y. and Chang, C-C. 2010. Biodiesel production fromtung*(Verniciamontana)* oil and its blending properties in different fatty acid compositions. Bioresource Technology. Vol.101, pp9521–9526.

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มแบบหมุนวนด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว

Circulation Biodiesel ProductionProcess from Palm Fatty Acid Distillate Using Helical Static Mixer

ทนงศักดิ์ ประสิทธิ์[1*] และ กฤช สมนึก[1]

Tanongsak Prasit[1*] and Krit Somnuk[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์15 ถนนกาญจนวณิชย์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

15 Karnjanavanit Rd, Khohong, Hat Yai District, Songkhla 90110

[*]E-mail: tanongsak.prasit@gmail.com, โทรศัพท์: 082-2742600, เบอร์โทรสาร:074-558830

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำกรดไขมันปาล์ม (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD) ที่มีค่าความเป็นกรดสูงมาเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มแบบหมุนวนด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวกรดไขมันปาล์มเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและไม่ได้ถูกนำมาใช้ผลิตอาหาร ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์จากน้ำมันปาล์มดิบ และอุปกรณ์ที่สำคัญที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวเพื่อประยุกต์ใช้กับปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรด โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณเมทานอล60 wt.% 80 wt.% และ 100 wt.% ปริมาณกรดซัลฟิวริก 5 wt.% 10 wt.% และ 15 wt.%และเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-90 นาที ที่อุณหภูมิ 60ºC จากผลการทดลองพบว่า ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันสามารถลดค่าความเป็นกรดของกรดไขมันปาล์มจาก 265 $mgKOH.g^{-1}$ให้มีค่าน้อยกว่า 1.97 $mgKOH.g^{-1}$ด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว ที่เงื่อนแนะนำคือ ปริมาณเมทานอล100 wt.% ปริมาณกรดซัลฟิวริก 15 wt.% และเวลาทำปฏิกิริยา 20 นาที ดังนั้นท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันขั้นตอนเดียว

Abstract

In this study, the palm fatty acid distillate (PFAD) having a high acid value, and it was used as the raw material for producing the biodiesel by using the helical static mixer in the circulation process. PFAD is a by-product of low market value and is not of edible grade. PFAD is a by-product from the physical refining of crude palm oil (CPO). The key part of this study is a helical static mixer, which was applied to use in the acid-catalyzed esterification. Three parameters: methanol (60 wt.%, 80 wt.%, and 100 wt.%), sulfuric acid (5 wt.% 10 wt.%, and 15 wt.%), and reaction time (10-90 min) were studied at 60^{o}C reaction temperature. The results showed that the 265 $mgKOH.g^{-1}$ of acid value in PFAD can be reduced to less than 1.97 $mgKOH.g^{-1}$ with the recommended condition were 100 wt.% methanol, 15 wt.% sulfuric acid, and 20 min reaction time at 60^{o}C. Consequently, the helical static mixer can be applied to produce the biodiesel from PFAD with single-step esterification.

คำหลัก: ไบโอดีเซล; กรดไขมันปาล์ม; ท่อผสมชนิดขดเกลียว; หมุนวน

Keywords:biodiesel; palm fatty acid distillate; helical static mixer; circulation

1.บทนำ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกพ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) เพื่อให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบพลังงานทดแทนที่มีอยู่ภายในประเทศให้ได้เต็มศักยภาพ การพัฒนาศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนด้วยเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสม และการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อผลประโยชน์ร่วมในมิติด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชน(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) การศึกษาและวิจัยทางด้านไบโอดีเซลก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สำคัญที่ช่วยผลักดันและพัฒนาศักยภาพด้านพลังงานทดแทนของไทยให้ถึงขั้นสูงสุด ทั้งนี้ไบโอดีเซลยังเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ (Shahir*et al*., 2015; Ciolkosz, 2015) และสามารถผลิตได้จากพลังงานทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศ ซึ่งผลิตจากน้ำมันพืช และไขมันสัตว์(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559)

ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยสามารถผลิตน้ำมันปาล์มได้เป็นอันดับสามของประเทศในแถบภูมิภาคอาเซียน รองจากประเทศอินโดนีเซียและมาเลเซีย ซึ่งสามารถผลิตได้ถึง 55.7 ล้านตัน (USDA, 2015) โดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลจะใช้น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบหลัก แต่เนื่องจากน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันบริโภค หากนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลมากเกินก็จะทำให้ตลาดน้ำมันเกิดการขาดแคลนดังเช่นในปี พ.ศ. 2553-2554จนต้องทำให้มีการนำเข้าน้ำมันปาล์มจากประเทศมาเลเซีย (กิติไพศาลนนท์, 2554) ทีมวิจัยจึงใช้ผลพลอยได้จากกระบวนกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มซึ่งไม่ได้เป็นปัจจัยในการนำมาใช้บริโภค และมีราคาต่ำกว่าน้ำมันปาล์มดิบ นั่นก็คือ กรดไขมันปาล์ม (PFAD) โดยวัตถุดิบชนิดนี้จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ เป็นต้น(Top, 2010) แต่เนื่องด้วย PFAD มีค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty Acid, FFA) มากกว่า 90 wt.% หรือค่าความเป็นกรด (Acid Value, AV)เท่ากับ 265 mgKOH.g^{-1}จึงจำเป็นต้องทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเพื่อลด FFA หรือ AV ให้มีค่าน้อยกว่า 2 wt.% และ 4 mgKOH.g^{-1} ตามลำดับ ก่อนไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันต่อไป(Yujaroen*et al*., 2009)

อุปกรณ์ผสมที่สำคัญที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ ท่อผสมแบบสถิต เนื่องจากท่อผสมแบบสถิตมีประสิทธิภาพในการผสมสารตั้งต้นได้ดีกว่าวิธีโดยทั่วไป สามารถช่วยลดเวลาในการทำปฏิกิริยา ลดปริมาณการใช้สารเคมี ลดขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ และได้ปริมาณผลได้ที่สูง (Sungwornpatansakul*et al*., 2013; Ghanem*et al*., 2014) ซึ่งทีมวิจัยได้ใช้ท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว(helical static mixer) เพื่อประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยระบบหมุนวนสารเคมีและวัตถุดิบ

2. วัตถุประสงค์

สำหรับวัตถุประสงค์ของการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน มีดังนี้

2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยท่อผสมชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน

2.2เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยเครื่องปฏิกรณ์ท่อผสมแบบหมุนวน

2.3เพื่อให้สามารถผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยเครื่องปฏิกรณ์ท่อผสมแบบหมุนวนให้มีค่าความเป็นกรด (Acid value) เหลือน้อยกว่า 2 mgKOH.g^{-1}

3. แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงมากๆ จำเป็นต้องใช้การผลิตแบบสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเพื่อลดค่ากรดไขมันอิสระให้มีค่าน้อยกว่า 2 wt.% เนื่องจากกรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดสบู่ และผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ยากและได้ปริมาณผลได้ต่ำ จากนั้นเมื่อค่ากรดไขมันอิสระให้มีค่าน้อยกว่า 2 wt.% แล้วจึงนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบจำพวกกลีเซอไรด์ให้เป็นเอสเทอร์(นิเซ็ง, 2557) โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ ทีมวิจัยของ Jain *et al*., (2010) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำด้วยกระบวนการแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก คือ ใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65ºC และขั้นตอนที่ 2 ใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอส เทอริฟิเคชัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50ºC อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:7 vol.% ใช้กรดซัลฟิวริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 1 wt.% กวนผสมที่ความเร็วรอบ 400rpmได้ปริมาณผลได้21.2% และ 90.1 % ตามลำดับทีมวิจัยของ Tamariz*et al*. (2015) ศึกษาคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขมันไก่ โดยใช้กระบวนการเอสเทอริฟิเคชันและทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน พบว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1% ที่ 60ºC ทำปฏิกิริยา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 6:1 ได้ปริมาณผลได้ 81.91%และปริมาณเอสเทอร์96.5%ทีมวิจัยของ Suksumrit*et al*. (2015) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันร่วมกับสภาวะเมทานอลเหนือจุดวิกฤต เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองคือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง เมทานอลกับกรดไขมันปาล์ม 9:1 เวลา 60 นาที และอุณหภูมิ 300ºCได้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 97.942% สามารถลดค่าความเป็นกรดเหลือ 2.232 mgKOH.g^{-1}

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับไบโอดีเซลสมัยใหม่ได้พัฒนารูปแบบการผสมและลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลให้ดีขึ้น เช่น การนำท่อผสมแบบสถิตมาแทนเครื่องผสมแบบเดิม โดยส่วนใหญ่จะเป็นระบบแบบถังกวนผสม ซึ่งใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน ใช้ปริมาณสารเคมีมาก และขนาดของเครื่องปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่ โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ ทีมวิจัยของ Somnuk*et al*. (2014) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนจากน้ำมันปาล์มดิบชนิดกรดสูงด้วยท่อผสมแบบสถิตหมุนวน ในขั้นตอนแรกได้ใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอล19.8 vol.% กรดซัลฟิวริก 2.0 vol.% และเวลาทำปฏิกิริยา 50 นาที ที่อุณหภูมิ 60ºC อัตราเร็วในการป้อนน้ำมันปาล์มดิบ 40 L/h ผ่านท่อผสมแบบสถิตที่มีความยาว 5 เมตร พบว่าสามารถลดความเป็นกรดในน้ำมันปาล์มดิบจาก 30 mgKOH.g^{-1}เหลือ 2 mgKOH.g^{-1} และขั้นตอนที่ 2 ได้ใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอล23.81 vol.%โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 11.8 wt.% และเวลาที่ทำปฏิกิริยา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 60ºC อัตราการไหลของน้ำมัน 40 L/h ผ่านท่อผสมแบบสถิตที่ความยาว 5 เมตร พบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มากกว่า 96.5 wt.%ทีมวิจัยของ Rahmat*et al*. (2013)ศึกษาการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ผลของการแยกชั้นของกลีเซอรอล คุณสมบัติของไบโอดีเซล และการวิเคราะห์สมดุลมวล เครื่องปฏิกรณ์ถูกออกแบบโดยใช้ปั๊มหมุนวนหรือเครื่องกวน และท่อผสมแบบสถิต มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้เมทานอลและลดเวลาการทำปฏิกิริยา พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้สารตั้งต้นลง อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกลีเซอรอลลดลงจาก 6:1 เหลือ 5:1 การผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 42.37% เป็น 49.34%

จากการทบทวนเอกสารข้างต้น ดังนั้นแนวคิดของงานวิจัยนี้จึงใช้กรดไขมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระหรือค่าความเป็นกรดสูงมากมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล ใช้ท่อผสมแบบสถิตมาเป็นอุปกรณ์เพราะมีประสิทธิภาพในการผสมสูง และกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดเพื่อลดค่ากรดไขมันอิสระหรือค่าความเป็นกรดลง ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสม

ที่สุดโดยแปรค่าปริมาณเมทานอล ปริมาณกรดซัลฟิวริก และเวลาในการหมุนวน เพื่อจะนำไปสู่ขั้นตอนที่ 2 นั่นคือ กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบจำพวกกลีเซอไรด์ในลำดับถัดไป

4. วิธีการวิจัย

4.1 วัตถุดิบและสารเคมี

กรดไขมันปาล์ม (PFAD) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิสระ และแสดงองค์ประกอบต่างๆ ได้ดังตารางที่ 1ซึ่งจะมีลักษณะเป็นไขที่อุณหภูมิ 30ºC และเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 43ºC ดังรูปที่ 1(ก) และ 2(ข) ตามลำดับ

(ก) (ข)

รูปที่ 1 ลักษณะของกรดไขมันปาล์ม (ก) ที่อุณหภูมิ 30ºC (ข) ที่อุณหภูมิ 43ºC

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกรดไขมันปาล์ม

องค์ประกอบ	ปริมาณ (wt.%)
กรดไขมันอิสระ	90.417
โมโนกลีเซอไรด์	5.041
ไดกลีเซอไรด์	2.437
ไตรกลีเซอไรด์	1.231
เอสเทอร์	0.874

สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย คือ เมทานอล (เกรดเชิงการค้าความบริสุทธิ์ 99.9% และกรดซัลฟิวริก (เกรดเชิงการค้าความบริสุทธิ์ 98%)เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ไอโซโพรพานอล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และฟีนอร์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

4.2 วิธีการทดลอง

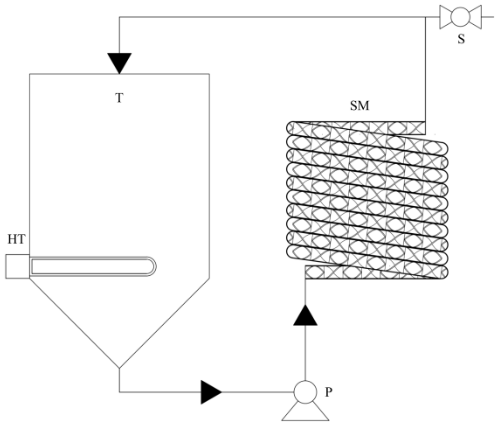
4.2.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

การผลิตไบโอดีเซลจาก PFAD ใช้ท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว(Helical static mixer) ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยเอลิเมนต์ของท่อผสมแบบสถิตใช้แผ่นแสตนเลสหนา 1มิลลิเมตรและอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร บิดให้เป็นเกลียวทำมุม 180º จากนั้นนำแต่ละเอลิเมนต์มาเชื่อมต่อกันทำมุม 90º โดยเอลิเมนต์ชนิดนี้เรียกว่า twisted-ribbon โดยมีความยาว 15 มิลลิเมตรเส้นผ่านศูนย์กลาง 10มิลลิเมตร และติดตั้งในท่อแสตนเลส ความยาวท่อผสม5 เมตร จากนั้นนำมาม้วนเป็นรูปขดเกลียดเพื่อลดขนาดของเครื่องปฏิกรณ์

4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

การผลิตไบโอดีเซลจาก PFAD ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ท่อผสมชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน โดยมีชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 2 ใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระกับแอลกอฮอล์ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์ คือ เอสเทอร์หรือไบโอดีเซล และน้ำ ตามรูปที่ 3โดยได้แปรค่าปริมาณเมทานอล60, 80 และ 100wt.% ปริมาณกรดซัลฟิวริก 5, 10 และ 15wt.% และเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-90 นาทีควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60ºC โดยเริ่มจากเตรียม PFAD ปริมาณ 2 กิโลกรัม ใส่ในถังปฏิกรณ์พร้อมเปิดฮีทเตอร์เพื่ออุ่น PFAD ให้ละลายเป็นของเหลว และเปิดปั๊มหมุนวนสารเคมีที่มีอัตราการไหลที่ 20 ลิตรต่อชั่วโมง จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 60ºC จึงเติมเมทานอลตามสัดส่วนที่ต้องการ หมุนวนสารผสมทั้งสองชนิดจนกระทั่งอุณหภูมิ 50ºC จึงเติมกรดซัลฟิวริกตามสัดส่วนที่เตรียมไว้เข้าในระบบ และเริ่มจับเวลาทันทีเมื่อมีการเติมกรดซัลฟิวริกลงไป เก็บตัวอย่างน้ำมันลดกรดที่เวลาทำปฏิกิริยา10-90 นาที โดยเก็บทุกๆ 10 นาที จากนั้นนำน้ำมันลดกรดไปหยุดอัตราการปฏิกิริยาทันทีด้วยการนำไปแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 0ºC จากนั้นนำน้ำมัน

ลดกรดมาล้างเพื่อกำจัดของเสีย และส่วนของสารเคมีที่หลงเหลือออกจากน้ำมันจนได้น้ำมันลดกรดที่มีความบริสุทธิ์และนำน้ำมันไปวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดด้วยเทคนิคการไทเตรท



รูปที่ 2เครื่องปฏิกรณ์ท่อผสมชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน (HT: heater, T: tank, P: pump, S: sampling และ SM: static mixer)

$$\text{FFA + Alcohol} \xleftrightarrow{\text{catalyst}} \text{Ester + Water}$$

รูปที่ 3 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน

4.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากได้น้ำมันลดกรดหรือไบโอดีเซลจาก PFAD ที่มีความบริสุทธิ์แล้ว จึงนำมาวิเคราะห์หาค่าAV ด้วยเทคนิคการไทเตรท ใช้วิธีของ The American Oil Chemists' Society Official Method Cd 3a-63 for Acid Value (AOCS, 1998) โดยเริ่มจากการชั่งตัวอย่างน้ำมันในขวดรูปชมพู่ประมาณ 1 กรัม หยดสารละลายไอโซโพรพานอลเพื่อลดความหนืดของน้ำมันลดกรด จากนั้นหยดฟีนอร์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ประมาณ 5-8 หยด และเขย่าให้เข้ากัน ไทเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยสาร-ละลายวิเคราะห์ที่บรรจุอยู่ในบิวเรตที่เตรียมจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายอยู่ในไอโซโพรพานอลความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จากนั้นเขย่าจนสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนคงที่ ประมาณ 30 วินาที และนำไปคำนวณหาค่า AV ตามสมการที่ 1

$$AV = \frac{V \times M \times 56.1}{m} \qquad (1)$$

เมื่อ AV คือ ค่าความเป็นกรด, $mgKOH.g^{-1}$)

V คือ ปริมาณด่างที่ใช้, ml

M คือ ความเข้มข้นของด่าง, normal

m คือ น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง, g

และโดยที่ มวลโมเลกุลของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ คือ 56.1 กรัมต่อโมล

5. ผลการวิจัยและการอภิปลายผล

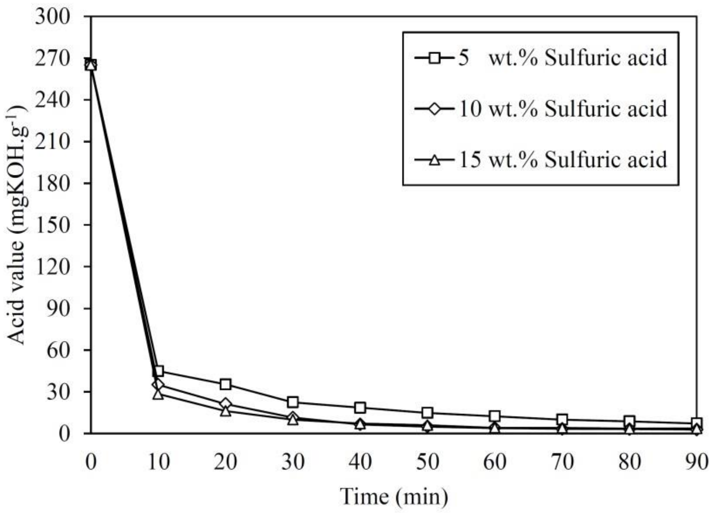
สำหรับการผลิตผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยท่อผสมชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน โดยแปรค่าปริมาณเมทานอล60, 80 และ 100 wt.% ปริมาณกรดซัลฟิวริก 5, 10และ 15wt.% และเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-90 นาที ควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60ºC จากรูปที่4(ก)พบว่าที่ปริมาณเมทานอล60 wt.% เมื่อใส่กรดซัลฟิวริกลงไป หมุนวนผสมจนถึงเวลา 10 นาที สามารถลดค่าความเป็นกรดของกรดไขมันปาล์มจาก 265 $mgKOH.g^{-1}$ในมีค่าความเป็นกรดน้อยกว่า 45, 36 และ 29 $mgKOH.g^{-1}$ ปริมาณกรดซัลฟิวริก 5, 10 และ 15 wt.% ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา ค่าความเป็นกรดก็จะลดลงเรื่อยๆ โดยที่เวลาทำปฏิกิริยา 90 นาที และปริมาณกรดซัลฟิวริก 5 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดเหลือ 7.15$mgKOH.g^{-1}$ และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 10 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดเหลือ 2.74 $mgKOH.g^{-1}$แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 15 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดได้เพียง 4.08 $mgKOH.g^{-1}$ที่เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที และเข้าสู่ภาวะสมดุลจนกระทั่งถึง 90 นาที จากรูปที่ 4(ข) เมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเป็น 80 wt.% พบว่าที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 5 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดได้เพียง 3.58 $mgKOH.g^{-1}$แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 10 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดได้น้อยกว่า 2.00

mgKOH.g^{-1}ตั้งแต่เวลาทำปฏิกิยา60 นาที และลดลงเหลือต่ำสุด 1.59 mgKOH.g^{-1}ที่เวลา 90 นาที และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น15 wt.% ก็สามารถลดค่าความเป็นกรดได้ประมาณ 2.00mgKOH.g^{-1}ตั้งแต่เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที และเข้าสู่ภาวะสมดุล จากรูปที่ 4(ค) ที่ปริมาณเมทานอล100 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดของ PFAD เหลือน้อยกว่า 3.00 mgKOH.g^{-1}ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 5 wt.% และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 10 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดเหลือน้อยกว่า 3.00 mgKOH.g^{-1}ตั้งแต่เวลาทำปฏิกิริยา 40 นาที และสามารถลดค่าความเป็นกรดเหลือน้อยกว่า 2.00 mgKOH.g^{-1}ที่เวลาทำปฏิกิริยาเพียงแค่ 20 นาที ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 15 wt.% และลดลงเหลือ 1.50 mgKOH.g^{-1}ที่เวลา 50 นาที และเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกขึ้นก็สามารถลดค่าความเป็นกรดของ PFAD ลง และกรดซัลฟิวริกก็มีผลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรดอย่างมีนัยสำคัญ

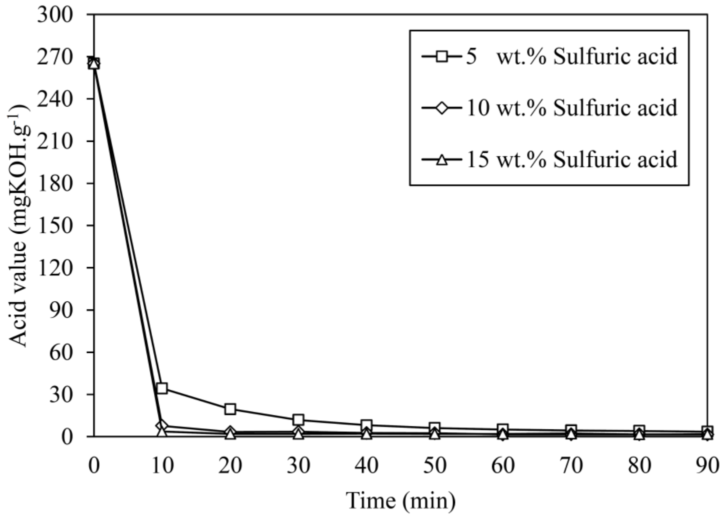
เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการเพิ่มขึ้นของเมทานอล พบว่าจากรูปที่ 5ก ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 5 wt.% และที่ปริมาณเมทานอล60 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดของ PFAD จาก 265 mgKOH.g^{-1}ได้เพียง 7.15 mgKOH.g^{-1} แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเป็น 80 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดให้เหลือ 3.58 mgKOH.g^{-1} และที่ปริมาณเมทานอล100 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดให้เหลือ 2.81 mgKOH.g^{-1}ที่เวลา 60 นาทีและเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 10 wt.% จากรูปที่ 5(ข) สามารถลดค่าความเป็นกรดให้เหลือเพียง 2.74 mgKOH.g^{-1}ที่ปริมาณเมทานอล60 wt.% และเมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเป็น 80 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดได้เท่ากับ 1.52 mgKOH.g^{-1}ตั้งแต่เวลา 60 นาที และเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเมทานอลเป็น 100 wt.% พบว่าไม่สามารถลดค่าความเป็นกรดให้น้อยกว่า 2.00 mgKOH.g^{-1}ได้ เนื่องจากเกิดน้ำขึ้นระหว่างกระบวนการทำปฏิกิริยาซึ่งจะไปเจือจางสารเคมีให้ทำปฏิกิริยาได้ยากขึ้น และจากรูปที่ 5(ค) เมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 15 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดได้น้อยกว่า 2.00 mgKOH.g^{-1}ที่ปริมาณเมทานอล80 wt.% เวลาทำปฏิกิริยาเพียงแค่ 30 นาที และเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเป็น 100 wt.% สามารถลดค่าความเป็นกรดได้น้อยกว่า 2.00 mgKOH.g^{-1} ที่เวลา 10 นาที และเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของเมทานอลก็มีผลต่อการลดค่าความเป็นกรดของ PFAD อย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

6. ข้อเสนอแนะ

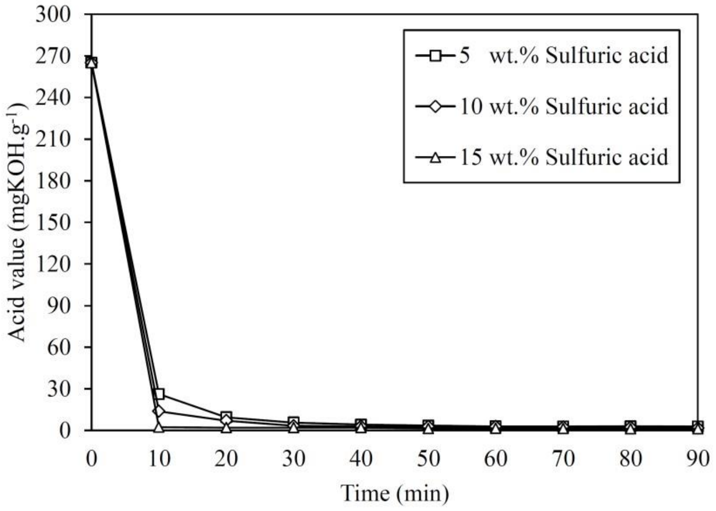
จากจากผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มซึ่งมีค่าความเป็นกรดสูงถึง 265 mgKOH.g^{-1} ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน พบว่ายังมีการใช้ปริมาณสารเคมีที่สูง เนื่องจากระหว่างกระบวนการทำปฏิกิริยาได้เกิดน้ำขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารเคมีลดลง ประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาลดลงด้วย เพราะใช้ถังปฏิกรณ์ทำปฏิกิริยาเพียงถังเดียว ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวแบบหมุนวนควรมีการแยกถังสารเคมี และถังทำปฏิกิริยาออกจากกัน เพื่อสามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบแบบต่อเนื่องได้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4ปริมาณค่าความเป็นกรดการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยท่อผสมชนิดขดเกลียวแบบหมุนวนที่
(ก) ปริมาณเมทานอล60 wt.%(ข) ปริมาณเมทานอล80 wt.% (ค) ปริมาณเมทานอล100wt.%

7. สรุป

การผลิตผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยท่อผสมชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน โดยแปรค่าปริมาณเมทานอล60, 80 และ 100 wt.% ปริมาณกรดซัลฟิวริก 5, 10 และ 15wt.% และเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-90 นาที ควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60ºCพบว่า ที่ปริมาณเมทานอล100 wt.% ปริมาณกรดซัลฟิวริก 15 wt.% และเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที สามารถลดค่าความเป็นกรดของ PFAD จาก 265 mgKOH.g^{-1}ให้เหลือเท่ากับ 1.97 mgKOH.g^{-1}และเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และสามารถนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบจำพวกกลีเซอไรด์ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ได้

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัยและสนับสนุนทุนวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ ENG570563S

9. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลัง กระทรวงพลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579**[ออนไลน์]. http://www.dede.go.th/main.php?filename=index

Shahir, V.K., Jawahar, C.P. and Suresh, P.R. (2015). Comparative study of diesel and biodiesel on CI engine with emphasis to emissions - A review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** 2015(45) :686 – 697.

Ciolkosz, D. (2015). Chapter 34 - What's so different about biodiesel fuel?,**Bioenergy Biomass to Biofuels**, 2015 : 551 – 555.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลัง กระทรวงพลังงาน. (2559). **ไบโอดีเซล** [ออนไลน์]. http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=898&Itemid

United States Department of Agriculture. (2015). **Palm Oil** [On-line]. Available : http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?,

บวร กิติไพศาลนนท์. (2554). "วิกฤตน้ำมันพืช" ระเบิดเวลาลูกแรก...อุตสาหกรรมอาหารไทย. **บทวิเคราะห์ของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม**. 2554 : 1 – 4.

AbGaporMd Top. (2010). Production and utilization of palm fatty acid distillate (PFAD), **Lipid Technology** 22(1) :11 – 13.

DuangkamolYujaroen, MotonobuGoto, Mitsuru Sasaki and ArtiwanShotipruk. (2009). Esterificationof palm fatty acid distillate (PFAD) in supercriticalmethanol: Effect of hydrolysis on reaction reactivity,**Fuel**88 : 2011 - 2016.

PaweetidaSungwornpatansakul, Junko Hiroi, Yuuki Nigahara, ThumeshaKaushalyaJayasinghe and Kunio Yoshikawa. (2013). Enhancement of biodiesel production reaction employing the static mixing, **Fuel Processing Technology** 116 : 1-8.

AkramGhanem, Thierry Lemenand, Dominique Della Vallea and Hassan Peerhossaini. (2014). Static mixers: Mechanisms, applications,and characterization methods – **A review, Chemical Engineering Research and Design** 92: 205–228.

สุดีห์ นิเซ็ง. (2557). ระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนจากน้ำมันปาล์มดิบชนิดกรดสูงด้วยท่อผสมแบบสถิตหมุนวน **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต** สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์(หน้า 1-137).

Siddharth Jain and M.P. Sharma. (2010). Biodiesel Production from JatrophaCurcas Oil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 14(9):3140–3147.

Mali Nay Buendía-Tamariz, Ricardo Trejo-Calzada, AbimbolaAbiola, Aurelio Pedroza-Sandoval, Rosario Jacobo-Salcedo and Manuel Reveles-Hernández. (2015). Characterization of Biodiesel Produced from Chicken Fat and Pennycress Oil using Different Concentrations of Basic Catalysts, **Journal of Agriculture and Environmental Sciences** 4(1) : 127-133.

JessadaSuksumrit, AparpornSakulkalavek, Vittaya Punsuvon and ChanakanPuemchalad. (2015). Biodiesel Production from Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Using Esterification with Supercritical Methanol, **Thaksin.J** 18(3) : 137-144.

KritSomnuk, SuhdeeNiseng and Gumpon Prateepchaikul. (2014). Optimization of High Free Fatty Acid Reduction in Mixed Crude Palm Oils Using Circulation Process through Static Mixer Reactor and Pilot-Scale of Two-Step Process. **Energy Conversion and Management**80 : 374–381.

BudyRahmat, ImasSitiSetiasih, and RoniKastaman. (2013). Biodiesel Reactor Design with Glycerol Separation to Increase Biodiesel Production Yield. **Makara Seri Teknologi** 17(1) : 11-16.

Albright LF. Albright's Chemical Engineering handbook. New York: CRC Press; 2008. AOCS. Official Method Cd 3a-63 for Acid Value. The American Oil Chemists' Society. Champaign, III, 1998.

การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มกับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์

Potential Study of Biogas Co - digestion from Beverage Industry Waste And Organic Fertilizer Raw Materials.

วิชชุตา ตุ่มทอง[1]* , สุภวัฒน์ วิวรรธภัทรกิจ[2] และ ฟ้าใส วิวัฒน์วงศ์วนา[3]

Vitchuta Toomthong[1]*, Supawat Vivanpatarakij[2] and Fasai Wiwatwongwana[3]

[1]หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2]สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[3]ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

[1]Energy Technology and Management **Graduate School Chulalongkorn University**

[2]Energy Research InstituteChulalongkorn University.

[3]Manufacturing Engineer Pathumwan Institute of Technology

*Vitchuta08@gmail.com, 0869069963

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทาการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มกับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากน้ำเสียที่ใช้ล้างลานวัตถุดิบที่สำหรับใช้ในการผลิตปุ๋ยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักร่วมของกากตะกอนที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มจากทั้งหมด 4 ตัวอย่างคือนมเบียร์กาแฟและเครื่องดื่มบำรุงกำลังหมักร่วมกับกากตะกอนจากบ่อบำบัดของโรงปุ๋ยซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในอัตราส่วน 100:0 , 75:25, 50:50 , 25:75 และ 0:100 โดยใช้น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมักเป็นเกณฑ์ศึกษาระดับห้องปฏิบัติการปริมาตรหมัก 300 มิลลิลิตรในขวด 500 มิลลิลิตรเติมวัตถุดิบครั้งเดียวแบบแบตซ์บนโต๊ะเขย่าสารควบคุมน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบหมักที่ 2 กรัมทุกอัตราส่วนใช้ระบบหมักแบบไร้อากาศ

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่ทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดทั้งปริมาณต่อวันและปริมาณสะสมคืออัตราส่วนการหมัก 75 : 25 โดยกากอุตสาหกรรมที่ใช้หมักร่วมแล้วเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดคือนมที่ 272 มิลลิลิตรรองลงมาคือกาแฟ 162 มิลลิลิตรเบียร์ 139 มิลลิลิตรและเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 128 มิลลิลิตรตามลำดับการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซพบว่าการเพิ่มกากอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัตถุดิบหมักร่วมกับกากตะกอนโรงปุ๋ยทำให้องค์ประกอบของก๊าซ (มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์) ลดลงกว่าการหมักโดยใช้กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอัตราส่วนการหมักร่วมที่ให้ก๊าซมีเทนสูงสุดคือการหมักของกากตะกอนกับกากอุตสาหกรรม 75:25 โดยกากอุตสาหกรรมที่ใช้หมักร่วมแล้วเกิดก๊าซมีเทนสูงสุดได้แก่นมพบก๊าซมีเทนร้อยละ 20.99 รองลงมาคือกาแฟร้อยละ 15.89 เบียร์ร้อยละ 13.64 และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ร้อยละ 9.09 จากการคำนวณพลังงานความร้อนที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพ อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้พลังงานความร้อนสูงสุดจากการหมักคือ 75 : 25 ซึ่งกากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมคือ นม ให้พลังงานความร้อน 2530.923 จูล ,กาแฟ 1141.134 จูล , เบียร์ 840.479 จูลและเครื่องดื่มบำรุงกำลัง 515.788 จูลตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าการเติมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มเพื่อใช้ในการหมักร่วมกับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้ค่ามีเทนซึ่งเป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพลดลงและช่วยให้ได้ปริมาณก๊าซเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ได้พลังงานร้อนเพิ่มสูงขึ้น อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 75 : 25 และกากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมคือ นม

Abstract

This Research aims to study efficiency of Bio Co-digestion from Beverage Industry Waste and Organic Fertilizer Raw Material. The waste water of Covered Lagoon treatment process was produced Biogas come from waste water cleaning raw material field. The Researcher was studied suitable mixing ratio between Beverage Industry Waste were taken from milk, Beer, Coffee and Energy Drink mixing with Organic Fertilizer Raw Material. For this Study, mixing ratio are0:100, 75:25, 50:50, and 25:75 considered by dry basis. The anaerobic digesters were studied total mixing volume 300 ml in 500 ml volumetric flask on shake. Total dry substrate is 2g every ratio each milk, coffee, beer and energy drink waste.

The experimental result showed the proportion 75:25 illustrate the maximum quantity of biogas accumulated equal 272 ml by milk. And less than accumulate were Coffee equal 162 ml, Beer equal 139 ml, minimum cumulative biogas volume equal 128 ml from Energy Drink. The Analysis of the gas composition results that showed, the blend of Beverage Industry Waste per Organic Fertilizer Raw Material were decrease the gas production (Methane and Carbondioxide) more than only Organic Fertilizer Raw Material The study found mixing ratio the blend of Beverage Industry Waste per Organic Fertilizer Raw Material has the highest percentage of Methane ratio is 75:25 from milk and its produced 2,530.923 joule , Coffee equal 1,141.132 joule, Beer equal 840.479 joule and Energy Drink equal joule of heating value. Experiment results on mixed more Beverage Industry Waste blend with Organic Fertilizer Raw Material decrease methane and the proportion 75:25 to make highest gas production and the heating value. The milk was suitable for mixing with Organic Fertilizer Raw Material.

คำหลัก :กระบวนการ, กากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม, ก๊าซชีวภาพ , กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย, ค่าความร้อน

Keywords :Process, BeverageIndustry Waste, biogas , waste water, Heating Value

1. บทนำ

ปัจจุบันเศรษฐกิจของประเทศมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการเกิดขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัญหาที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้คือ ขยะและของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ที่เรียกว่า กากอุตสาหกรรมในปัจจุบันขยะของภาคอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นมีจำนวนมากถึง 2.04 ล้านตัน/ปี คิดเป็น 77% จากปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด 2.65 ล้านตัน/ปีโดยกระบวนการกำจัดกากอุตสาหกรรมมีหลายประเภท เช่น การฝังกลบ การเผาทำลายในเตาเผา การนำกลับมาใช้ใหม่ แต่กระบวนการกำจัดที่เป็นที่นิยมของขยะที่ไม่เป็นอันตรายนั้น ได้แก่กระบวนการฝังกลบ นับเป็นการกำจัดที่มีราคาถูกและสะดวกในการทำลายมากที่สุด ซึ่งกระบวนการกำจัดโดยวิธีการฝังกลบนี้ เป็นกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์จากการทำลายกากอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการศูนย์เสียมูลค่าของกากอุตสาหกรรม ซึ่งกากอุตสาหกรรมบางประเภท สามารถใช้ประโยชน์ต่อได้ เช่น กากอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมผลิตอาหารและเครื่องดื่ม ที่มีความไม่เป็นอันตราย และในวิธีการกำจัดหากเกิดกระบวนการย่อยสลายทางธรรมชาติโดยใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบแบบไม่เป็นอันตราย (Non Hazardous Land Fill) โดยจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น จะมีก๊าซมีเทน (CH_4) , ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซอื่น ๆ ที่เกิดจากการหมัก (Fermentation)ของอินทรีย์วัตถุภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) ก่อให้เกิดผลกระทบต่อหลุมฝังกลบ ทำให้ต้องมีกระบวนการดำเนินการเพื่อกำจัดก๊าซที่เกิดขึ้น และกำจัดทิ้งอย่างไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายนี้ สามารถนำไปผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพ[1] และนำก๊าซมีเทนเพื่อใช้ให้ความร้อน ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

การศึกษาวิจัยนี้ผู้ศึกษาสนใจการนำกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มมาเป็นวัตถุดิบร่วมในการผลิตก๊าซชีวภาพของบ่อปิดภายใต้สภาวะไร้

ออกซิเจน ของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาวิจัยที่มีจัดทำรายงานไว้พบว่าการหมักร่วมของสารอินทรีย์มากกว่า 1 ชนิด สามารถเพิ่มปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพได้ตามรายงานของ Energy Systems Engineering Institute[2] และจากรายงานของกองการจัดการสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ (2550) พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และเยื่อกระดาษ จำนวน 26 โรงงานมีปริมาณน้ำเสียและกากตะกอนเกิดขึ้นประมาณ 40,200 ตัน/เดือน/โรงงาน และคิดเป็นปริมาณน้ำเสียและกากตะกอนเกิดขึ้นทั้งหมด 1,045,200 ตัน/เดือน และมีปริมาณการนำไปใช้ประโยชน์เฉลี่ย 8,333 ตัน/เดือน/โรงงาน คิดเป็นปริมาณการนำไปใช้ประโยชน์ 108,333 ตัน/เดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 10.36 ของปริมาณที่เกิดขึ้นทั้งหมดของของเสียจากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นผู้ศึกษาเลือกกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มจาก 4 ตัวอย่างที่เป็นเครื่องดื่มที่นิยมในประเทศ เนื่องจากเป็นกากอุตสาหกรรมที่มีค่า COD สูง ซึ่งเป็นค่าที่บอกระดับความเน่าเสีย เพื่อศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพ และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักกากตะกอนจากโรงงานผลิตเครื่องดื่ม จากทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงที่สุด

2. เพื่อนำของเสียในโรงงานผลิตเครื่องดื่มที่เป็นเป้าหมายให้สามารถนำใช้ประโยชน์การปรับปรุงการผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่มีการผลิตและใช้อยู่แล้วในปัจจุบัน

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซชีวภาพ (Biogas หรือ Digester Gas) โดยทั่วไปจึงหมายถึง ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของอินทรียวัตถุ ประกอบด้วยปุ๋ยคอก โคลนจากน้ำเสีย ขยะประเภทของแข็งจากเมือง หรือของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์หรือจากโรงงานมูลสัตว์[3]ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) กระบวนการนี้เป็นที่นิยมในการเปลี่ยนของเสียประเภทอินทรีย์ทั้งหลายไปเป็นกระแสไฟฟ้า นอกจากกำจัดขยะได้แล้ว ยังทำลายเชื้อโรคได้ด้วย การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นการบริหารจัดการของเสียที่ควรได้รับการสนับสนุน เพราะไม่เป็นการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ส่วนการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนจะสะอาดกว่าและจากการศึกษาโรงงานผลิตเครื่องดื่มจากบทความเรื่อง Biogas yield from carbonated soft drink sludge with some organic wastesลดก๊าซเรือนกระจกได้เช่นกัน

กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพนั้น การย่อยสลายทำหน้าที่โดยจุลินทรีย์หลายจำพวกที่สามารถทำงานได้ในสภาวะดังกล่าว และสามารถแสดงได้โดยสมการ

$$\textbf{Organic Matter} \longrightarrow CH_4+CO_2+H_2+NH_3+H_2S$$

ทั้งนี้ ในก๊าซชีวภาพจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่สำหรับย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาวะไร้ออกซิเจนนอกจากจะทำให้เกิดก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4. วิธีการทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการหมักร่วมโดยศึกษาแนวทางของการวิจัยของมหาวิทยาลัยสุรนารี[4] ในอัตราส่วนการผสมที่ต่างกัน คือ กากตะกอนจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มและกากตะกอนจากบ่อปิดแบบไร้ออกซิเจนของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ อัตราส่วน ที่ (100 : 0),(75 : 25),(50 : 50), (25:75) และ (0:100) โดยการทดลองนี้ทำในระดับห้องปฏิบัติการเป็นการทดลองแบบแบตช์ (Batch) เติมของผสมเพียงครั้ง

เดียวและทำการทดลองแบบเสมือนตามที่Wankhade N. A. [5] ทำการทดลอง ซึ่งการทดลองทางได้พิจารณาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ ศึกษาจากการเปรียบเทียบ ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และค่าร้อยละของก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบก๊าซที่อยู่ในก๊าซชีวภาพ

วัตถุดิบ/การเตรียมวัตถุดิบ ในกระบวนการย่อยกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเครื่องดื่มที่ใช้ในการทดลอง ได้มาจากโรงงานจำนวน 4 โรงงาน ดังนี้

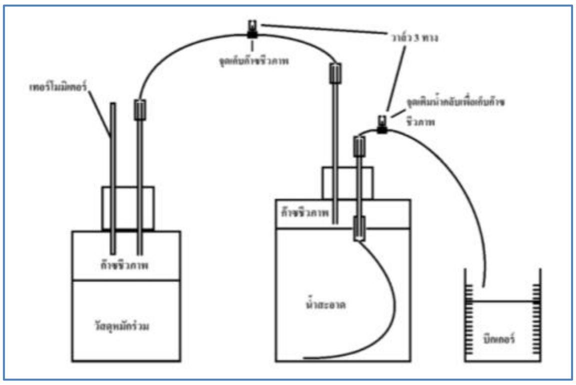
1) กากตะกอนโรงงานผลิตนม
2) กากตะกอนโรงงานผลิตเบียร์
3) กากตะกอนโรงงานผลิตกาแฟ
4) กากตะกอนโรงงานผลิตเครื่องดื่มบำรุงกำลัง

ใช้การเก็บตัวอย่างโดยวิธีการตักจากรถดูดตะกอนที่ดำเนินการเข้าไปดูดในบ่อบำบัดน้ำเสียที่โรงงานเก็บรวบรวมกากตะกอนไว้ก่อนส่งกำจัด

เชื้อจุลชีพจากบ่อหมักตะกอนจุลินทรีย์ก๊าซชีวภาพ (Cover Lagoon Bio-Reactor : CLBR) ที่ใช้ในการทดลอง เก็บโดยการตักลงในบ่อล้นของบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพกรณีศึกษา โดยตัวอย่างทั้งหมดใส่ในกระบอกพลาสติกปิดฝามิดชิด แช่ไว้ในถังโฟมใส่น้ำแข็ง อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส และนำมาเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของกากตะกอนให้คงที่

ชุดหมักก๊าซชีวภาพแบบแบตซ์ ชุดการทดลองจะแบ่งเป็นสองส่วนหลักโดยส่วนที่เป็น ชุดหมัก ประกอบด้วยขวดแก้วสีชา ขนาด 500 มิลลิลิตร ใช้เป็นขวดหมักของผสม โดยปริมาณหมักเท่ากับ 300 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยจุก ยางชนิดเจาะสองช่องให้พอดีกับปากขวดเพื่อป้องกันอากาศเข้าในขวดหมัก ช่องเจาะที่จุกยางใส่เทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิภายในขวดหมัก และใส่ท่อนำก๊าซเพื่อนำก๊าซเข้าชุดเก็บก๊าซและวัด ปริมาณก๊าซจากการแทนที่น้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ชุดหมักจะตั้งอยู่บนเครื่องเขย่าอัตโนมัติ (Automatic shaker) ทุกอัตราส่วนผสมที่ศึกษา กำหนดให้เครื่องทำงานตลอดเวลาในเวลากลางวัน (07.00 – 19.00 น.)

รูปที่ 1 ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ



ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยขวดแก้วขนาด 2,000 มิลลิลิตร ใส่น้ำเต็มขวดปิดขวดด้วยจุกยางชนิดเจาะสองช่องให้พอดีกับปากขวดเพื่อป้องกันก๊าซชีวภาพที่เก็บอยู่ในขวดรั่วซึมออกมา ช่องเจาะที่จุกยางใส่ ท่อ 2 เส้น เส้นหนึ่งเป็นท่อนำก๊าซชีวภาพที่เกิดจากชุดหมักเข้าขวดเก็บก๊าซขนาด 2,000 มิลลิลิตร ซึ่งมีน้ำอยู่เต็มขวด จากหลักการแทนที่น้ำเมื่อก๊าซเข้าในขวดเก็บก๊าซจะดันน้ำออกมาทางท่ออีกทาง หนึ่งลงไปในบีกเกอร์ปริมาณน้ำที่ออกมาที่บีกเกอร์เป็นการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยจะนำน้ำในบีกเกอร์ไปตวงด้วยกระบอกตวงเพื่อวัดปริมาณที่ละเอียดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ชุดเก็บก๊าซชีวภาพ แสดงดังรูปที่ 6 การติดตั้งชุดเก็บก๊าซชีวภาพมีการทดสอบการปิดขวดเก็บและการต่อท่อนำก๊าซกับสายยางซิลิโคน ไม่ให้มีช่องอากาศเข้าหรือการรั่วซึมของก๊าซด้วยวิธีการเป่าลมเข้าในขวดทางท่อนำก๊าซเข้า ขวดเก็บโดยปิดวาล์ว 3 ทาง ส่วนที่ต่อไปยังบีกเกอร์แล้วใช้น้ำผสมน้ำยาล้างจานลาดบริเวณรอบๆ จุด ที่มีการต่อเชื่อมของอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบรอยรั่วที่จะทำให้มีอากาศเข้าหรือก๊าซรั่วซึมออกได้

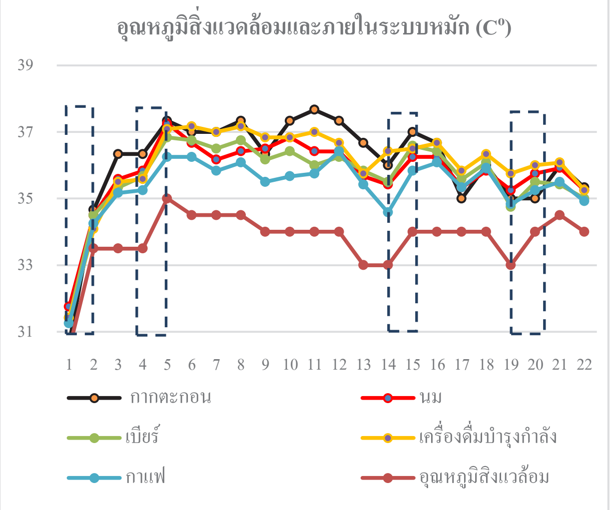
การเดินระบบการทดลอง ใช้การทดลองด้วยชุดทดลอง 100 ชุดการทดลอง โดยมีตัวอย่างอัตราส่วน 5 ตัวอย่าง 5 อัตราส่วน โดยหมักอัตราส่วนละ 4 ชุดการทดลอง จัดชุดการทดลอง เตรียมวัตถุดิบ การผสมวัตถุดิบหมักจะทำทีละอัตราส่วน โดยให้ปริมาณของกากตะกอนทั้ง 2 ชนิดตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้รวมกันที่ 300 มิลลิลิตรทำเช่นเดียวกันกับทุกอัตราส่วนทุกชุดการทดลอง

การผสมวัตถุดิบ ใช้วิธีการผสมกากตะกอนและหัวเชื้อจุลินทรีย์หมักลงในขวดแก้วสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรหมักที่ 300 มิลลิลิตร เติมวัตถุดิบหมักเพียงครั้งเดียวให้ระบบเกิดก๊าซชีวภาพแล้วทำการเก็บผลการทดลองเป็น ระยะจนสิ้นสุดกระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพ จัดวางชุดหมักทั้งหมดไว้บนเครื่องเขย่าอัตโนมัติ (Automatic Shaker) โดยแบ่งชุดทดลองเป็น 5 กลุ่มละ 5 อัตราส่วน ทำทั้งหมด 4 ครั้ง ก่อนเปิดเครื่องให้ระบบทำการเขย่า ได้ทำการสูบอากาศที่อยู่ในขวดหมักออกโดยใช้สลิงค์สูบอากาศออกครั้งละ 50 มิลลิลิตร จำนวน 4 ครั้ง ทำการหมักเป็นเวลา 22 วัน ตลอดเวลาที่ทดลองเครื่องเขย่าจะทำงานตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึงเวลา 19.00 น. และปิดเครื่องเพื่อ บันทึกผลการทดลองในเวลา 13.00 น. เป็นเวลาประมาณ 5 นาที ทุกวัน ในช่วงเช้าและเย็นจะ บันทึกผลก่อนและหลังปิดเครื่อง

การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ ชุดทดลองที่ใช้ในการหมักจะมีการต่อท่อก๊าซชีวภาพจากชุดหมักไปเก็บไว้ที่ชุดเก็บก๊าซ โดยระหว่างทางจะมีวาล์วสามทางไว้เพื่อเป็นจุดติดตั้งถุงเก็บก๊าซในขณะเก็บก๊าซ และที่ชุด เก็บก๊าซจะใช้หลักการแทนที่ของก๊าซที่เกิดขึ้นโดยเมื่อก๊าซเข้าไปยังชุดเก็บก๊าซจะดันน้ำที่อยู่ในขวด เก็บก๊าซออกมาทางท่อสายยางลงไปยังบีกเกอร์ซึ่งในระหว่างทางจะมีวาล์วสามทางอีกหนึ่งตัวไว้เติม น้ำเข้าขวดเก็บก๊าซเพื่อเป็นการไล่ก๊าซย้อนกลับเข้าไปทางวาล์วตัวแรกเพื่อเป็นการเก็บก๊าซเข้าถุงเก็บก๊าซที่เตรียมไว้ โดยถุงเก็บก๊าซก่อนที่จะนำมาเก็บตัวอย่างก๊าซมีการไล่อากาศออกจากถุงด้วยมือ และสูบอากาศออกจากถุงด้วยสลิงค์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อีกจำนวน 1 ครั้งหลังจากได้ตัวอย่างก๊าซชีวภาพแล้วจึงนำหลอดเก็บก๊าซสูบ ก๊าซจากถุงเก็บก๊าซเพื่อฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatograph Shimadzu รุ่น GC-14B หาค่าร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะใช้การเปรียบเทียบและคำนวณค่า จากกราฟที่ได้จากเครื่อง GC ที่ใช้ก๊าซมาตรฐานของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ฉีดเข้าเครื่อง จากนั้นฉีดก๊าซชีวภาพที่ต้องการหาค่าจำเพาะที่ทำให้สามารถหาค่าองค์ประกอบของก๊าซที่ผลิตได้ออกมาเป็นร้อยละ

5. ผลการวิจัย

1)อุณหภูมิการทดลอง บันทึกอุณหภูมิจากการทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการหมักร่วมระหว่างกากตะกอนจากบ่อหมักตะกอนจุลินทรีย์ก๊าซชีวภาพและกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม โดยทำการหมักที่อุณหภูมิห้องวัดอุณหภูมิระหว่างการหมักจดค่าอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิภายในระบบหมักจากเทอร์โมมิเตอร์ ณ.เวลา 14.00 น.ของทุกวันโดยทำการทดลองเป็น 2 ครั้ง ครั้งละ 27 ตัวอย่าง

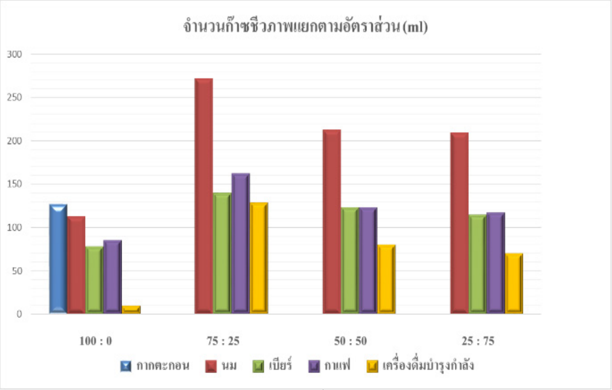


รูปที่ 2อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและภายในระบบหมัก (C^o)

จากการทดลองพบช่วงที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโดยการทดลองทั้ง 2 ครั้งมีช่วงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิคือวันที่ 1-2,4-5,14-15และ19-20 ของการทดลองเพื่อใช้เป็น

ช่วงเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ซึ่งก๊าซชีวภาพจะเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิสูงสุดคือวันที่ 5 ของการทดลองที่ 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ต่ำสุดคือวันที่ 1 ของการทดลอง 30 องศาเซลเซียส

2)ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยสะสม เกิดจากการบันทึกค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจำนวน 22 วัน พบว่า อัตราส่วนการหมักที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพดีที่สุดคือ อัตราส่วนหมักกากตะกอนต่อกากอุตสาหกรรมที่ 75:25 ซึ่งกากอุตสาหกรรมที่ให้ปริมาณก๊าซดีที่สุดคือ นม กาแฟ เบียร์และเครื่องดื่มบำรุงกำลังตามลำดับและปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของกากอุตสาหกรรมต่อกากตะกอนเพิ่มขึ้นเป็น 50:50 และ 75:25 ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3จำนวนก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสะสมตลอดการทดลอง

3) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ พบว่ามีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีค่าลดลงเมื่อลดการผสมกากตะกอนและเพิ่มอัตราส่วนผสม เรียงลำดับร้อยละองค์ประกอบก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์จากมากไปน้อย ตามอัตราส่วนได้แก่ 75 : 25 ,50:50, 25:75 ตามลำดับร้อยละองค์ประกอบของค่ามีเทน (CH_4) สูงสุดคือกากตะกอนผสมกับกากอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆใน อันตราส่วน 100 :0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 24.59 โดยปริมาณค่าต่ำสุดคือ กากตะกอนผสมกากเครื่องดื่มบำรุงกำลังในอัตราส่วน 100 : 0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.91 โดยปริมาณ และร้อยละองค์ประกอบของคาร์บอนไดออกไซด์ (CH_4) สูงสุดคือ กากตะกอนผสมกับกากอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ ในอัตราส่วน 100 :0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.36 โดยปริมาณค่าต่ำสุดคือ กากตะกอนผสมกากเครื่องดื่มบำรุงกำลังในอัตราส่วน 100 : 0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.42 โดยปริมาณเช่นเดียวกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์)

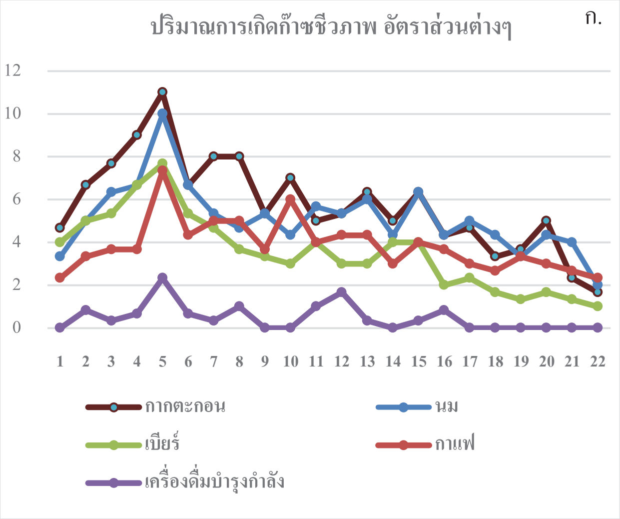
อัตราส่วน	ชนิดตัวอย่าง	CH_4 (%)	CO_2(%)	ก๊าซชนิดอื่นๆ (%)
100 : 0	กากตะกอนจากบ่อลากูน	24.59	5.36	70.05
	กากตะกอนนม	18.74	4.33	76.93
	กากตะกอนเบียร์	10	0.88	89.12
	กากตะกอนกาแฟ	11.61	1	87.39
	กากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	7.91	0.42	91.67

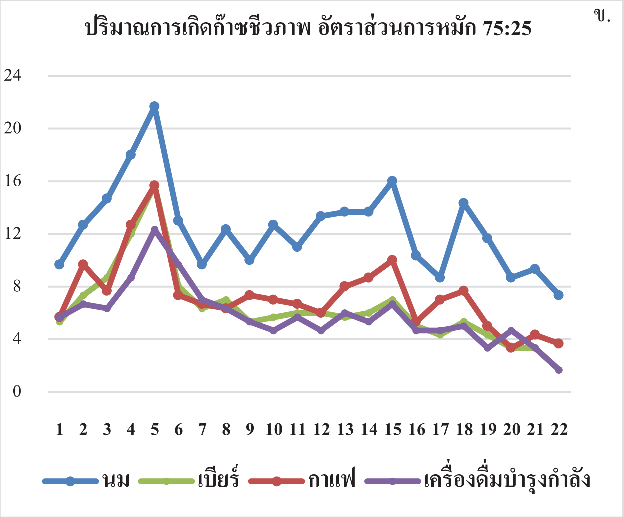
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์) (ต่อ)

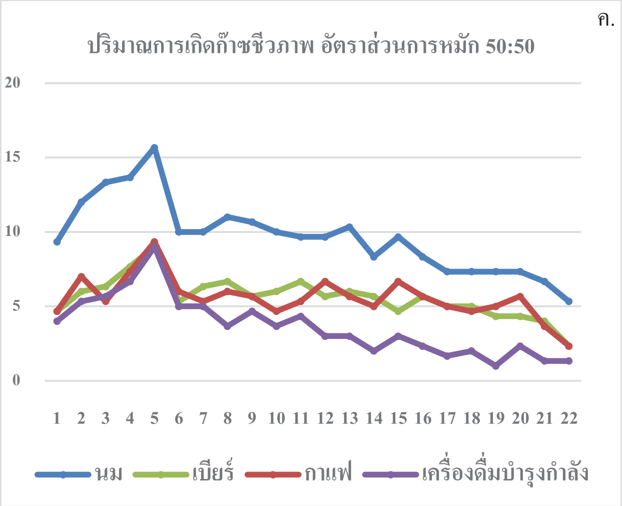
อัตราส่วน	ชนิดตัวอย่าง	CH4 (%)	CO2 (%)	ก๊าซชนิดอื่นๆ (%)
75 : 25	กากตะกอนนม	20.99	5.03	73.98
	กากตะกอนเบียร์	13.64	1.15	85.21
	กากตะกอนกาแฟ	15.89	2.11	82
	กากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	9.09	0.81	90.1
50 : 50	กากตะกอนนม	19.68	4.98	75.34
	กากตะกอนเบียร์	11.73	1.08	87.19
	กากตะกอนกาแฟ	12.61	1.28	86.11
	กากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	8.67	0.76	90.57
25 : 75	กากตะกอนนม	19.37	4.67	75.96
	กากตะกอนเบียร์	11.02	0.92	88.06
	กากตะกอนกาแฟ	12.42	1.22	86.36
	กากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	8.27	0.5	91.23

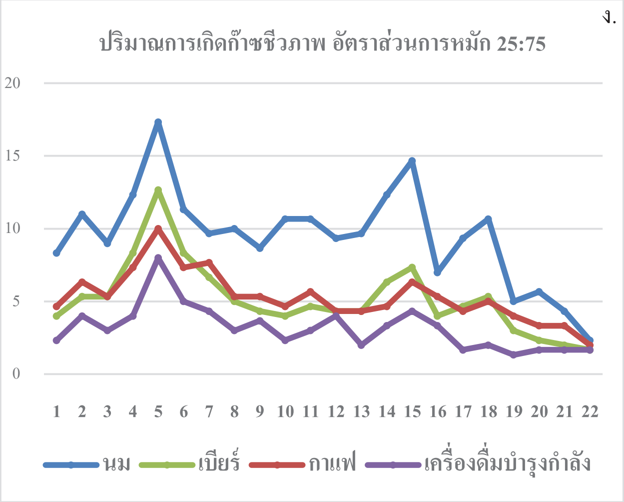
6. อภิปรายผลการวิจัย

1)การเปรียบเทียบอุณหภูมิกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวัน









รูปที่ 4 (ก) ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ จากอัตราส่วนการหมักต่างๆ
(ข) ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ จากอัตราส่วนการหมัก 75:25
(ค) ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ จากอัตราส่วนการหมัก 50:50
(ง) ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ จากอัตราส่วนการหมัก 25:75

จากรูปที่ 4 (ก-ง) เป็นการทดลองเก็บปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะการเกิดไม่สม่ำเสมอกันในทุกวันตลอดการทดลองหรือมีลักษณะการเกิดที่ไม่คงที่ โดยปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซเกิดในปริมาณมากในช่วง 1 –10 วันแรกของการทดลอง ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ค่าปริมาณการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง พบว่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพของแต่ละวันจะมีลักษณะลดลงเรื่อยๆ ทุกอัตราส่วน และเมื่อเทียบกับช่วงของอุณหภูมิที่มีการเพิ่มขึ้น ในวันที่ 1-2,4-5,14-15 และ19-20 ของการทดลองจะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเพิ่มของปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในช่วงเดียวกัน แสดงถึงลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพที่มีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิกับการหมัก คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ยิ่งสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดีคล้ายกับการทดลองของYee Pong, Chua[6]โดยช่วงอุณหภูมิระหว่างการทดลองดังกล่าวมีอุณหภูมิตั้งแต่ 30 – 35องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยเอื้อต่อการทำงานของเชื้อแบคทีเรียกลุ่ม Mesophilic ที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิปานกลาง

2)ปริมาณก๊าซชีวภาพ, ค่ามีเทนและค่าความร้อน

ตารางที่ 3แสดงปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ , ก๊าซมีเทนและค่าความร้อนที่ได้

อัตราส่วนหมัก	ชนิดตัวอย่าง	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (ml)	CH4 (%)	ค่าความร้อน (จูล)
100 : 0	กากตะกอนจากบ่อลากูน	127	24.59	1386.112
	กากตะกอนนม	113	18.74	939.905
	กากตะกอนเบียร์	78	10	346.203
	กากตะกอนกาแฟ	85	11.61	438.013
	กากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	10	7.91	35.108
75 : 25	กากตะกอนนม	272	20.99	2530.923
	กากตะกอนเบียร์	139	13.64	840.479
	กากตะกอนกาแฟ	162	15.89	1141.134
	กากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	128	9.09	515.788
50 : 50	กากตะกอนนม	213	19.68	1860.548
	กากตะกอนเบียร์	123	11.73	640.382
	กากตะกอนกาแฟ	123	12.61	688.425
	กากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	80	8.67	307.854
25 : 75	กากตะกอนนม	209	19.37	1794.625
	กากตะกอนเบียร์	114	11.02	556.908
	กากตะกอนกาแฟ	117	12.42	644.177
	กากตะกอนเครื่องดื่มบำรุงกำลัง	70	8.27	256.626

จากตารางที่ 3พบว่าอัตราส่วนหมักที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนการหมักกากตะกอนกับกากอุตสาหกรรมที่ 75 : 25 รองลงมาคือ 50 : 50 และ 25 : 75 ตามลำดับ ส่วนกากอุตสาหรรมที่เหมาะสมที่นำมาหมักร่วมกับกากตะกอน และให้ก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุดคือ นม รองลงมาคือ กาแฟ เบียร์ และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง ตามลำดับ โดยค่าความร้อยที่ได้ สอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งอัตราส่วนการหมักกากตะกอนกับนมที่ 75:25 ให้ค่าความร้อน 2,530.925 จูล รองลงมาคือ 50 :50 ให้ค่าความร้อน 180.548 จูล และ 25 : 75 ให้ค่าความร้อน 1,794.625 จูลตามลำดับ

7. สรุป

จากการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่ม

กับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เมื่อพิจารณาการหมักร่วมโดยเติมกากอุตสาหกรรมเข้าไปในระบบ โดยปรับปริมาณสัดส่วนภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน ค่าน้ำหนักแห้งรวมของทุกอัตราส่วนเท่ากันที่ 2 กรัมพบว่าอัตราส่วนหมักที่ต่างกันส่งผลให้เกิดก๊าซชีวภาพ , อัตราการเกิดก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าความร้อนที่ได้แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาอัตราส่วนทั้ง 5 อัตราส่วนหมักได้ดังนี้

1)ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน จากการศึกษาพบว่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละวันมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากการทดลองจะเห็นได้ว่ามีปริมาณก๊าซเกิดในปริมาณมากในช่วง 1 –10 วันแรกของการทดลอง ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 -5 ของการทดลอง ค่าปริมาณการเกิดก๊าซมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณการเกิดก๊าซสูงสุด เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแบบเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบ เมื่อไม่มีการเติมสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆทำงานน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลองอัตราส่วนที่มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวันสูง คือ อัตราส่วนหมักกากตะกอนกับกากอุตสาหกรรม 75:25 โดยกากอุตสาหกรรมที่เกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ นม กาแฟ เบียร์และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง รองลงมาคือ อัตราส่วน 50:50 โดยกากอุตสาหกรรมที่เกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ นม กาแฟ เบียร์และเครื่องดื่มบำรุงกำลังเช่นเดียวกัน

2)ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการทดลอง จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่ได้ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ อัตราส่วนหมักกากตะกอนกับกากอุตสาหกรรม 75:25 ซึ่งนมมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมที่ 272 มิลลิลิตร มากที่สุด รองลงมาคือ กาแฟ เบียร์ละเครื่องดื่มบำรุงกำลัง มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมที่ 162 139 และ 128 มิลลิลิตรตามลำดับ

3)องค์ประกอบก๊าซชีวภาพและค่าความร้อน จากการทดลองพบว่า เมื่อผสมกากอุตสาหกรรมลงไปในการหมักก๊าซชีวภาพของกากตะกอน ทำให้องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์) ลดลง แต่เมื่อคำนวนหาค่าความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักระหว่างกากตะกอนกับกากอุตสาหกรรม พบว่าให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นกว่าการหมักก๊าซชีวภาพโดยน้ำล้างวัตถุดิบจากโรงปุ๋ยเพียงอย่างเดียว ซึ่งอัตราส่วนที่ให้ผลดีที่สุดคือ 75 : 25 รองลงมาคือ 50 : 50 และ 25 : 75 กากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมที่นำมาหมักร่วมกับกากตะกอนคือ นม รองลงมาคือ กาแฟ เบียร์ และเครื่องดื่มบำรุงกำลังตามลำดับ

4) จากผลที่ได้ทั้งหมดจากการทดลองพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการการหมักร่วมกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องดื่มกับวัตถุดิบของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งการเกิดก๊าซชีวภาพต่อวัน, การเกิดก๊าซชีวภาพสะสม, การเกิดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพและค่าความร้อน คือ อัตราส่วนกากตะกอนต่อกากอุตสาหกรรมที่ 75:25 โดยกากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมที่สุดคือ นม รองลงมาคือ กาแฟ เบียร์ และเครื่องดื่มบำรุงกำลังตามลำดับ

ดังนั้น การเติมกากอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัตถุดิบในการหมักร่วมกับกากตะกอนในบ่อหมักก๊าซชีวภาพประเภทลากูนของโรงปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ ส่งผลให้ก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพลดลงและเป็นการปรับปรุงเพื่อให้ได้ค่าความร้อนจากการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากการหมักร่วมทำให้มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นและหากทดลองในปริมาณที่เป็นจำนวนมากสามารถเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้นและนำไปใช้เป็นก๊าซชีวภาพที่ใช้ในครัวเรือนได้เช่นกัน [7]

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ธีระศักดิ์ เสภากล่อม.2548. **ก๊าซชีวภาพ พลังงานทดแทนจากสิ่งปฏิกูล.** [ออนไลน์] ได้จาก :http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=12547&section=9

[2] Ally Mayer. (2010) **ANAEROBIC DIGESTION OF ORGANIC WASTE FOR BIOGAS PRODUCTION** :Energy Systems Engineering Institute: Lehigh University,USA

[3] Arthur Wellinger. (2011).**BIOGAS SIMPLY THE BEST.** European Biogas Association.Factory, BELGIAN: pp. 8-12

[4] Suranaree University of Technology. (2007)**LABORATORY SCALE EXPERIMENTS FOR BIOGAS PRODUCTION FROM CASSAVA TUBER**, School of Biology : Institute of Science : NakhonRatchasima : THAILAND.

[5] Wankhade N. A. (2012). **BIOGAS YIELD FROM CARBONATE SOFT DRINK SLUDGE WITH SOME ORGANIC WASTES [online]**Available :http://www.ipublishing.co.in/ijesarticles/twelve/articles/voltwo/EIJES3182.pdf.

[6] Yee Pong, Chua. (2013). **RELATIONSHIP BETWEEN WASTEWATER SLUDGE QUALITY AND ENERGY PRODUCTION POTENTIAL**:School of Environmental, Faculty of Engineering: Computing and mathematicsThe University of Western Australia ,AUSTRALIA :pp.33-37

[7] Yosuke Matsumiya, (2013). **GREEN ENERGY PRODUCTION FROM MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE IN JAPAN [online] Available :** http://gcus.jp/wp/wpcontent/uploads/2014/06/ebd9e233be72625b03c96047573177f9.pdf.

.

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการอบชีวมวล

Solar Dryer for Biomass Drying

วราจิต พยอม[1*] สุวิจักขณ์ แวงวรรณ[1] เจตรินจันทะมุด[1] ประจักษ์เกษโสภา[1] และรณชัยนักผูก[1]

WarachitPhayom[1*] SuwijakWeangwan[1] JetarinChantamud[1]

PhrajakKedsopha[1] and RonnachaiNakphook[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกลและวิศวกรรมพลังงาน

คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เลขที่ 64 ถนนทหาร อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

[1]Mechanical Technology and energy engineering, Faculty of Technology

UdonThaniRajabhat University 64 Tahan Road MuangUdonThani 41000

[*]Email: warachit@hotmail.com, 042221040-50 ต่อ 1425

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการอบชีวมวลเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยห้องอบแห้งและตัวสะสมความร้อน โดยทำจากเหล็กมีขนาด ความสูง 140 ความยาว150 เซนติเมตร และมีความกว้าง 100 เซนติเมตร ห้องอบแห้งมี 4 ชั้น ด้านหน้าติดด้วยแผ่นอะคริลิคใสที่มีขนาด หนา 2.5 มิลลิเมตร ส่วนตัวสะสมความร้อนทาสีดำเพื่อช่วยในการดูดความร้อน ผลการทดสอบการอบแห้งผักตบชวาโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการลดความชื้นแห้งแบบดั้งเดิม (ตากแดด) รวม 4 วัน พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดความชื้นได้ดีกว่าการลดความชื้นแบบดั้งเดิม ปริมาณความชื้นของผักตบชวาที่ออกจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เหลือเพียงร้อยละ 18.25 มาตรฐานเปียก ส่วนการลดความชื้นแบบดั้งเดิมมีความชื้นมากถึงร้อยละ 40.10 มาตรฐานเปียก นอกจากนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ยังไม่มีการใช้พลังงานจากซากฟอสซิลแต่อย่างใด

Abstract

The purpose of this research was to study on performance of a solar dryer for biomass drying. The solar dryer includes of a drying chamber and a solar collector. It was constructed from steels with dimensions of 140 mm (height) 150 mm (length) and 100 mm (width), and there was 4 floors. The front side was covered by a 2.5 mm thick sheet of transparent acrylic. Its surface was black painted for absorbing. It was found that the solar dryer for Water hyacinth could dehumidify more than conventional drying method (Expose in the sun) for 4 days. The solar dryer and the conventional drying method had the moisture content of Water hyacinth of 18.25%wb and 40.10%wb, respectively. Furthermore no supplying fossil fuels when using the solar biomass dryer.

คำหลัก: เครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ชีวมวล ตัวสะสมความร้อนแสงอาทิตย์

Keywords: Dryer, Solar energy, Biomass, Solar collector

1. บทนำ

ปัญหาวิกฤตทางด้านพลังงานจากซากฟอสซิล รวมถึงมลพิษจากการใช้พลังงานชนิดนี้ ทำให้พลังงานทดแทนเข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้น จะเห็นได้จากแผนพัฒนาประเทศที่ได้บรรจุแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกเข้าไปด้วย โดยเป็นแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกใน 10 ปี(พ.ศ.2555-2564) เพื่อผลักดันให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 (สุทธิรัตน์ สุทธิมณฑล,2556)

ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญอันหนึ่งโดยส่วนใหญ่มาจากภาคเกษตรทำให้หาได้ง่ายเนื่องจากในประเทศไทยมีปริมาณมาก(ไกรพัฒน์ จีน-ขจร,2551) นอกจากนี้ยังราคาถูกเนื่องจากชีวมวลที่นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเป็นชีวมวลที่เหลือใช้จาก

การเก็บเกี่ยวหรือแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร อาทิเช่น กากอ้อย ใบยอดอ้อย ฟางข้าว เศษซังข้าวโพด เป็นต้น หรือเป็นชีวมวลที่ถือว่าเป็นขยะที่ต้องหาทางกำจัดทิ้ง เช่น ผักตบชวา เป็นต้น มีการประมาณว่าชีวมวลเหล่านี้หากนำมาทำเป็นพลังงานจะเทียบเท่าได้กับถ่านหินลิกไนท์ถึง 54 ล้านตัน (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวลและมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม,2549) นอกจากนี้ยังมีแหล่งชีวมวลที่เกิดจากการเพาะปลูกเพื่อใช้เป็นพลังงานโดยตรงซึ่งภาครัฐกำลังให้การสนับสนุนการเพาะปลูก เช่น หญ้าเนเปียร์ ชานอ้อย

เชื้อเพลิงจากชีวมวลสามารถนำไปใช้ทดแทนหรือเสริมพลังงานจากซากฟอสซิลได้ โดยอาศัยเทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเป็นพลังงาน ซึ่งมีหลากหลายวิธีทั้งทางชีวเคมี เช่น การหมัก ทางกายภาพ เช่น การอัดแท่ง และทางเคมีความร้อน เช่น การไพโรไลซิส อย่างไรก็ตามปัญหาของชีวมวลที่สำคัญในการนำมาแปลงเป็นพลังงานอย่างหนึ่งคือเรื่องของความชื้น (นคร ทิพยาวงศ์,2552; ไกรพัฒน์ จีนขจร, 2551; ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวลและมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2549)

อย่างไรก็ตามได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการลดความชื้นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาพอสมควรแล้ว (ธีรเดชใหญ่บกและคณะ, 2553; ทนงศักดิ์วัฒนา,2554; เถลิงราชนิลเชื้อวงศ์และคณะ, 2555)แต่ลักษณะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ก็แตกต่างตามวัตถุประสงค์ของงานอื่นที่ไม่ใช่การลดความชื้นชีวมวล หรือการใช้พลังงานอาจเป็นการใช้ร่วมกันระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานในรูปแบบอื่น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งสำหรับใช้กับชีวมวล โดยเน้นศึกษาด้านระยะเวลาในการอบแห้ง ซึ่งเครื่องอบแห้งที่ทำการศึกษาได้ออกแบบให้เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

3. ชุดทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชีวมวล

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชีวมวลที่จะไปผลิตเป็นพลังงานต่อไปโดยจะเน้นให้สามารถลดความชื้นชีวมวลได้ในปริมาณที่มากและใช้เวลาไม่มากนัก อย่างไรก็ตามการลดความชื้นชีวมวลนี้ไม่ได้คำนึงการรักษารูปทรงของชีวมวลเนื่องจากจะต้องนำไปบดหรืออัดหลังจากลดความชื้นอยู่แล้ว

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชีวมวลในงานวิจัยนี้ไม่มีการใช้พลังงานจากซากฟอสซิลแต่อย่างใด สำหรับการทดสอบจะทำการทดสอบเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยวิธีดั้งเดิมคือการตากแดดชีวมวลโดยตรง

สำหรับชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ ผักตบชวา ซึ่งหาง่าย และมีความชื้นค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับชีวมวลอื่นๆ

รายละเอียดสำคัญของเครื่องลดความชื้นชีวมวลพลังงานแสงอาทิตย์ มีดังต่อไปนี้

3.1ห้องอบแห้ง

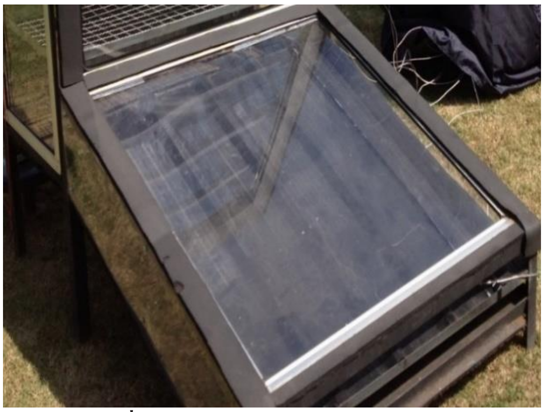
โครงห้องทำมาจากเหล็กฉาก ขนาด 2 นิ้ว ลึก 54 เซนติเมตรกว้าง 100 เซนติเมตรและสูง100 เซนติเมตรทำเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า สูงจากพื้น 40 เซนติเมตร ด้านหน้าด้านข้าง และด้านบน ติดด้วยแผ่นอะคริลิคใส หนา 2.5 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้รับแสง ซึ่งทำให้ห้องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงมากขึ้น ส่วนผนังด้านหลังเป็นเหล็กแผ่นเรียบ หนา 1.5 มิลลิเมตร กว้าง 100 เซนติเมตรและยาว 100 เซนติเมตรสำหรับด้านล่างเชื่อมติดด้วยเหล็กแผ่นเรียบขนาด หนา 1.5 มิลลิเมตร กว้าง 54 เซนติเมตรและยาว 100 เซนติเมตรแล้วติดฉนวนกันความร้อนเพื่อไม่ให้เกิดความร้อนสูญเสียออกจากห้องอบแห้ง และมีชั้นวางชีวมวล จำนวน 4 ชั้น แต่ละชั้นมีระยะห่าง 30 เซนติเมตร ทำมาจากเหล็กฉาก ขนาด 1 นิ้ว กว้าง 79.5 เซนติเมตรและยาว 53 เซนติเมตรทำเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ติดกับตะแกรงลวด ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 4

ชิ้น เพื่อใช้วางชีวมวลและทำให้อากาศไหลผ่านตะแกรงได้สะดวกมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ห้องอบแห้ง

3.2 ตัวสะสมความร้อนแสงอาทิตย์

โครงของตัวสะสมความร้อนแสงอาทิตย์ทำมาจากเหล็กฉาก ขนาด 2 นิ้วกว้าง 100 เซนติเมตรยาว 100 เซนติเมตรและสูง20 เซนติเมตรทำเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านบนติดด้วยแผ่นอะคริลิคใสที่มีขนาดหนา 2.5 มิลลิเมตร เป็นส่วนรับแสงของเครื่องอบแห้งและต่อเข้ากับห้องอบแห้งเพื่อทำให้ห้องอบแห้งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยทำมุมกับพื้น 17.5 องศาเซลเซียส ส่วนด้านหลังเชื่อมติดด้วยเหล็กแผ่นเรียบ หนา 1.5 มิลลิเมตรและทำการติดฉนวนกันความร้อนเพื่อไม่ให้เกิดความร้อนสูญเสียออกจากห้องอบแห้ง ดังรูปที่ 2 โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชีวมวลที่สมบูรณ์แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2ตัวสะสมความร้อนแสงอาทิตย์

รูปที่ 3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

3.3 หลักการทำงานของเครื่องลดความชื้นพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ถูกติดตั้งให้หันไปทางทิศใต้เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน แสงอาทิตย์จะถูกรวมที่ตัวสะสมความร้อนทำให้อากาศภายในห้องสะสมมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น อากาศร้อนนี้จะลอยตัวสูงขึ้นทำให้อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจากภายนอกเข้ามาแทนที่ อากาศร้อนดังกล่าวจะลอยตัวเคลื่อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง และจะพาความชื้นจากชีวมวลลอยตัวออกไปที่ด้านบนของห้องอบแห้ง ซึ่งมีพัดลมที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ช่วยในการดูดอากาศร้อนพร้อมกับความชื้นในชีวมวลออกไปสู่ภายนอก ทำให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดความชื้นชีวมวลได้มากกว่าวิธีการดั้งเดิมหรือการตากแดดตามปกติ

4. วิธีการทดสอบ

4.1 อุปกรณ์และวัตถุดิบชีวมวล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วยเครื่องชั่งสำหรับใช้ในการหาค่ามวลของชีวมวลก่อนและหลังทำการทดสอบ เครื่องวัดความเข้มแสงสำหรับหาค่าพลังงานของแสงอาทิตย์มัลติมิเตอร์แผงโซล่าเซลล์สำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าให้กับพัดลมพร้อมอินเวอร์เตอร์ พัดลมคอมพิวเตอร์ที่ใช้แล้ว 3 ตัว สำหรับใช้พาอากาศร้อนชื้นออกจากห้องลดความชื้น เทอร์โมคัปเปิลพร้อมตัว

แสดงผลสำหรับวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งและบรรยากาศภายนอกและเตาอบสำหรับหาค่าความชื้น (Moisture content) ของชีวมวล

สำหรับชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ผักตบชวา ซึ่งทำการเก็บมาจากแหล่งน้ำสาธารณะ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทดสอบ โดยนำผักตบชวามาทำความสะอาดก่อนนำมาทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4ชีวมวล (ผักตบชวา)ที่ใช้ในการทดสอบ

4.2วิธีการทดลอง

การทดลองนี้ได้ทำการบันทึกผลค่าต่างๆ ตั้งแต่เวลา 9:00 ถึง 16:00 น. ทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 4 วัน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1)นำชีวมวลที่จะทำการทดสอบมาแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรก แบ่งเป็น 4 กองเท่าๆ กัน โดยแต่ละกองมีชีวมวลประมาณ 7 กิโลกรัม แล้วนำมาวางบนตะแกรงในเครื่องอบแห้งทั้ง 4 ชั้น (รูปที่ 5) ส่วนที่สองนำไปวางบนตะแกรงที่ยกห่างจากพื้นเล็กน้อย (รูปที่ 6) สำหรับใช้เป็นตัวอย่างควบคุมในการเปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่ชีวมวลที่อยู่ในเครื่องอบแห้งทั้ง 4 ชั้น และที่ตากอยู่กับพื้นจะถูกแบ่งออกมา3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 350 กรัมโดยประมาณ เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการนำมาหาปริมาณความชื้นในแต่ละวัน

รูปที่ 5ชีวมวลในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 4 ชั้น พร้อมหัววัดอุณหภูมิของอากาศด้านในและด้านนอก

รูปที่ 5ชีวมวลที่นำมาวางตากแดดสำหรับใช้เป็นตัวอย่างควบคุมในการศึกษานี้

3)ตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ เพื่อให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน

4)วัดค่าต่างๆ ประกอบด้วย

- ไพรานอมิเตอร์ เพื่อวัดความเข้มของแสงอาทิตย์

-เทอร์โมคัปเปิลและเครื่องแสดงผลเพื่อวัดอุณหภูมิอากาศบรรยากาศ และอุณหภูมิของอากาศด้านในของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 4 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 5

5) ในแต่ละวัน ชีวมวลจะถูกนำออกมาชั่งมวลเพื่อใช้คำนวณหามวลของน้ำที่หายไป โดยนำมาชั่ง ณ

เวลา 9:00 น 12:00 น. และ 16:00 น. และบันทึกผลจนน้ำหนักชีวมวลเริ่มคงที่ในวันที่ 4 จึงหยุดทำการทดลอง

6)ชีวมวลที่ออกจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในวันสุดท้ายของการทดลอง จะถูกนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณความชื้น และบันทึกผล

7) นำผลการทดลองทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ผลโดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในหัวข้อที่ 5

5. วิธีการวิเคราะห์

ค่าชี้ผลสำหรับงานวิจัยนี้ มีดังนี้

5.1 ปริมาณความชื้นของชีวมวล (Moisture Content)

ใช้วิธีการคำนวณความชื้นแบบความชื้นเปียก (Wet basis) ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์ในกระบวนการอบแห้ง (dehydration)ของผักตบชวาหรือชีวมวลที่มีปริมาณน้ำมากๆ หากใช้ความชื้นมาตรฐานแห้งอาจทำให้สับสนได้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่อยู่ในชีวมวลมีมากทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นเกิน 100สำหรับความชื้นมาตรฐานเปียกหาได้จากสมการที่ (1)(วิบูลย์ เทเพนทร์ และคณะ, 2553)

$$MC(\%wb)=\frac{(m_2-m_1)}{m_2}\times 100 \qquad (1)$$

เมื่อMC คือ ปริมาณความชื้นของชีวมวล (%wb)

m_1 คือ มวลของชีวมวลที่เป็นของแข็ง(กรัม)หรือมวลของชีวมวลหลังออกจากเตาอบ ซึ่งได้จากการอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

m_2 คือ มวลของชีวมวล ณ วันสุดท้ายของการลดความชื้น(กรัม)

5.2 ความสามารถในการกำจัดน้ำออกจากชีวมวล

พิจารณาจากการนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของมวลของน้ำที่หายไปในชีวมวลกับระยะเวลาที่ใช้ระหว่างการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กับการวางตากแดด โดยร้อยละของมวลของน้ำที่หายไปหาได้จากสมการที่ (2)

$$M_w(\%)=\frac{(m_i-m_f)}{m_i}\times 100 \qquad (1)$$

เมื่อM_w (%) คือ มวลของน้ำที่หาย (%)

m_i คือ มวลของน้ำในชีวมวลก่อนนำสู่กระบวนการลดความชื้น (กรัม)

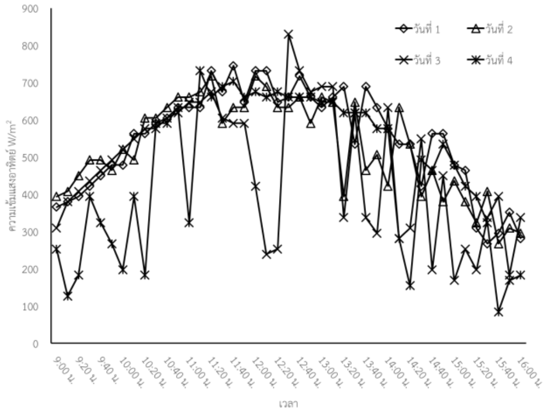
m_f คือ มวลของน้ำในชีวมวล ณ เวลานั้นๆ (กรัม)

6. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับการลดความชื้นแบบด้วยการวางตากแดดบนตะแกรง โดยการทดสอบได้ตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้เพื่อให้ได้รับแสงตลอดทั้งวัน การศึกษานี้ทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 09:00 ถึง 16:00 น. ซึ่งมีรายละเอียดผลการศึกษา ดังต่อไปนี้

6.1 ความเข้มแสงและอุณหภูมิบรรยากาศ

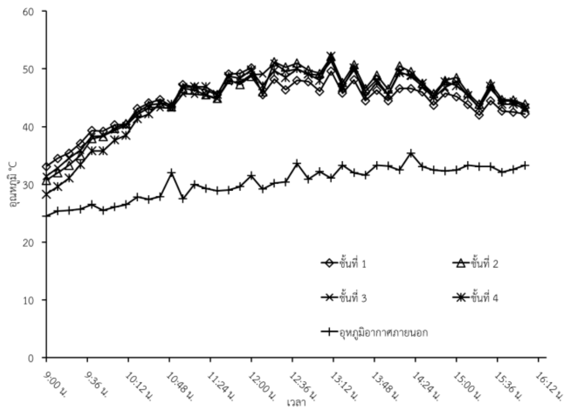
การศึกษานี้ได้ทำการทดสอบรวมทั้งสิ้น 4 วัน โดยสภาพอากาศในระหว่างทำการทดสอบค่อนข้างมีเมฆมาก ทำให้มีค่าความเข้มแสงไม่สูงมากนักและค่อนข้างแปรปรวน มีค่าอยู่ระหว่าง 84.39 ถึง 829.82 วัตต์ต่อตารางเมตร (รูปที่ 7) โดยความเข้มแสงที่ค่าสูงกว่า 600 วัตต์ต่อตารางเมตร จะอยู่ในช่วงเวลา 11:00 ถึง 14:00 น. ซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่เกิดความร้อนสูงสุดของช่วงวัน และมีอุณหภูมิบรรยากาศกลางแจ้ง ตั้งแต่เวลา 09:00 ถึง 16:00 น. มีค่าระหว่าง 24.10 ถึง 36.90 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.49องศาเซลเซียส



รูปที่ 7ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงการทดสอบ

6.2 อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะแสดงให้ทราบว่าเครื่องอบแห้งจะมีความสามารถในการดึงปริมาณน้ำในชีวมวลออกมามากหรือน้อย จากผลการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 4 วัน พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงก่อนเที่ยงวัน โดยหลังเที่ยงวันเป็นต้นไปอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งจะค่อนข้างคงที่ และเริ่มมีค่าลดลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นไปตามแนวโน้มความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีค่าต่ำลงหลังเที่ยงวันเช่นกันดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งเป็นผลของการทดสอบในวันที่ 2 ที่มีความสม่ำเสมอของความเข้มแสงทำให้สามารถสังเกตพฤติกรรมของอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งได้ดี จากผลการทดสอบยังพบว่าอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งทั้งสี่ชั้นไม่ค่อยแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการลดความชื้นชีวมวลทั้งสี่ชั้นมีความสม่ำเสมอกันด้วยโดยจะกล่าวรายละเอียดของปริมาณการลดความชื้นให้หัวข้อถัดไป



รูปที่ 8ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งในแต่ละช่วงวันเปรียบเทียบกับอุณหภูมิบรรยากาศภายนอก

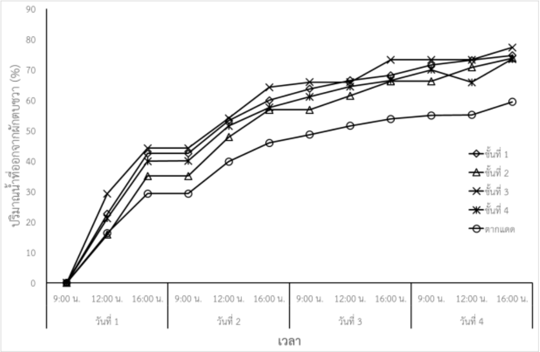
นอกจากนี้เครื่องอบแห้งสามารถดึงความร้อนเข้ามาในเครื่องได้ดีมาก สังเกตได้จากค่าอุณหภูมิของอากาศภายในที่สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศด้านนอก และมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดที่ 58.10 องศาเซลเซียส โดยมีค่าอุณหภูมิบรรยากาศภายนอก ณ เวลานั้นที่ 31.60 องศาเซลเซียส หมายความว่าเครื่องอบแห้งทำให้ได้อุณหภูมิแตกต่างมากถึง 26.5 องศาเซลเซียส หรือสูงขึ้นร้อยละ83.86

6.3 ปริมาณความชื้นของชีวมวลและความสามารถในการกำจัดน้ำออกจากชีวมวลของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการลดความชื้นผักตบชวาโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นที่หายไปต่างกันมากเมื่อเทียบระหว่างการลดความชื้นด้วยการวางตากแดดกับการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่ปริมาณความชื้นของผักตบชวาที่ทำการลดความชื้นด้วยการตากแดดรวม 4 วัน มีค่าความชื้นหลังการตากแดดร้อยละ 40.10 มาตรฐานเปียก ส่วนผักตบชวาที่ผ่านการลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าความชื้นหลังผ่านการอบแห้งร้อยละ 18.25 มาตรฐานเปียก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความสามารถในการลดความชื้นผักตบชวาได้มากกว่าการวางแตกแดดในสภาพอากาศเหมือนกันได้มากกว่าเท่าตัว

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการกำจัดน้ำให้หายไปจากชีวมวลพบว่า เครื่องอบแห้งทั้งสี่ชั้นมีความสามารถในการกำจัดน้ำออกจากผักตบชวาได้ใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าการวางตากแดดตลอดการทดสอบ อย่างไรก็ตามในช่วงวันแรกอัตราการกำจัดน้ำออกจากผักตบชวาของทั้งสองวิธีมีค่าค่อนข้างสูง โดยอัตราการกำจัดน้ำเฉลี่ยร้อยละ 40.38 ต่อวันและ 29.23 ต่อวันสำหรับเครื่องอบแห้งและการวางตากแดดตามลำดับ เมื่อสิ้นการทดสอบทั้ง 4 วัน พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการวางตากแดดสามารถ

กำจัดน้ำเฉลี่ยได้ร้อยละ 74.76 และ59.40 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 13 และตารางที่ 1



รูปที่ 13 ผลการลดความชื้นผักตบชวาโดยใช้เครื่องลดความชื้นชีวมวลพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้ง 4 วัน

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำที่สามารถกำจัดออกจากผักตบชวา (%) ได้ในแต่ละชั้นของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเทียบกับการวางตากแดดในแต่ละวัน

ชั้นที่	วันที่ 1			วันที่ 2			วันที่ 3			วันที่ 4		
	9:00 น.	12:00 น.	16:00 น.	9:00 น.	12:00 น.	16:00 น.	9:00 น.	12:00 น.	16:00 น.	9:00 น.	12:00 น.	16:00 น.
1	0.00	22.61	42.44	42.44	53.23	59.92	63.67	66.46	68.11	71.47	73.12	74.65
2	0.00	15.77	35.04	35.04	47.81	56.80	56.80	61.41	66.14	66.14	70.74	73.71
3	0.00	29.26	44.16	44.16	53.99	64.16	65.86	65.86	73.20	73.20	73.20	77.26
4	0.00	21.15	39.89	39.99	51.45	57.52	61.04	64.40	66.45	69.91	65.81	73.43
ตากแดด	0.00	16.28	29.23	29.26	39.79	45.90	48.65	51.51	53.76	54.91	55.12	59.40

7. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 4 วัน พบว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถลดความชื้นได้ดีกว่าการลดความชื้นแบบตากแดดทั่วไป ซึ่งความชื้นของผักตบชวาที่ได้หลังออกจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าร้อยละ 18.25 มาตรฐานเปียก และการลดความชื้นแบบตากแดดทำให้ได้ค่าความชื้นร้อยละ 40.10 มาตรฐานเปียก ส่วนการลดความชื้นของแต่ละชั้นมีความสามารถในการลดความชื้นที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวนี้ทำให้มีการกระจายของอากาศร้อนภายในได้ดี และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความสามารถในการอบแห้งชีวมวลได้ประมาณครั้งละ 20 ถึง 25 กิโลกรัม

นอกจากนี้การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ไม่มีการใช้พลังงานจากซากฟอสซิลแต่อย่างใด จึงเป็นเครื่องอบแห้งที่ไม่มีความสิ้นเปลืองพลังงานและไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไรก็ตามหากน้ำหนักของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ในการวิจัยหน้าจะได้มีการพิจารณาหาวัสดุที่นำมาสร้างเครื่องอบแห้งให้มีน้ำหนักลดลง และเพิ่มปริมาณการอบแห้งให้ได้มากขึ้นและสะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้จะได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งอื่นๆ ต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกลและวิศวกรรมพลังงาน

คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่และเครื่องมือในการทดสอบ

9. เอกสารอ้างอิง

ไกรพัฒน์ จีนขจร (2551).**พลังงานหมุนเวียน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

ทนงศักดิ์ วัฒนา. (2554). การอบแห้งและประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.**อินดัสเทรียลเทคโนโลยีรีวิว** 16(208):142-147.

ธีรเดช ใหญ่บก สุวิทย์ เพชรห้วยลึกจอมภพ แววศักดิ์มารีนา มะหนิและภรพนา บัวเพชร์. (2553).การพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าภายใต้สภาพภูมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย.**วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ** 12(3): 109-118.

เถลิงราช นิลเชื้อวงศ์, อนุพงศ์ เอกผล, สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุลและยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล (2552).การอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจและกลุ่มสหกรณ์สวนยางพาราขนาดย่อม. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา** 17(2): 50-59.

นครทิพยาวงศ์. 2552. **เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ส.ส.ท.

ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวลและมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2549. **ชีวมวล**. กรุงเทพฯ: บริษัทคิวพริ้นท์แมเนจเม้นท์จำกัด.

วิบูลย์ เทเพนทร์, ไมตรี แนวพนิช, ชูศักดิ์ชวประดิษฐ์และเวียง อากรชี (2553). **วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งและวิธีการลดความชื้นข้าวโพดที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ**. กรุงเทพฯ:สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.

สุทธิรัตน์สุทธิมณฑล. (2556). **เส้นทางของปาล์มน้ำมันสู่ภาคอีสาน**[ออนไลน์] . ได้จาก : http://www.bot.or.th/Thai/EconomicConditions/Thai/Northeast/Research/DocLib_Research/1 5 -NE %20Palm%20Oil.pdf.

การประเมินสมรรถนะเครื่องอัดถ่านเพื่อผลิตถ่านอัดแท่งที่มีศักยภาพทางความร้อนและทางเศรษฐศาสตร์

Performance Assessmentof Charcoal Briquette Machine that Potential Thermal and Economics Assessment

จุติพร อินทะนิน น้ำผึ้ง ใจกล้า สุดใจ ดาวกระจาย ชลีดล อินยาศรี

Jutiporn Intanin Namphueng Chaikla Soodjai Daokrajay Chaleedol Inyasri

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ที่ 8 ถ.เพชรบุรี-หาดเจ้าสำราญ ต.นาวุ้ง อ.เมืองเพชรบุรี จ.เพชรบุรี 76000

*E-mail : Jutipornintanin@gmail.com, 083-035-2535, 032-405-502

Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

PhetchaburiRajabhat University, 38 Moo.8, Moo 8, Phetchaburi-Haad Chao Samran, Na-Wung.Muang, Phetchaburi 76000

*E-mail : Jutipornintanin@gmail.com, 083-035-2535, 032-405-502

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำชีวมวลมาใช้ในการผลิตพลังงานเพื่อทดแทนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์เพื่อให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลงชีวมวลเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากภาคเกษตรกรรม มีปริมาณมากและหาได้ง่ายภายในประเทศ จากงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถ่านอัดแท่งที่ได้จากเครื่องอัดถ่านถูกออกแบบมาโดยอาศัยการทำงานแบบเอ็กซ์ทรูชัน โดยใช้ผงถ่านไม้โกงกางเป็นวัตถุดิบหลักมีแป้งมันสำปะหลังและกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน จากการศึกษาหาค่าความร้อนพบว่าสมบัติพื้นฐานของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งได้แก่ ผงถ่านไม้โกงกาง แป้งมันสำปะหลัง และกากน้ำตาล มีค่าความร้อนที่เหมาะสมต่อการที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยที่แป้งมันสำปะหลังให้ค่าความร้อนสูงที่สุด คือ 15.041 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ค่ารองลงมาคือผงถ่านไม้โกงกาง และกากน้ำตาล คือ 13.231 และ 12.148 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เครื่องอัดถ่านมีกำลังการผลิต 13.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และจากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ผงถ่านไม้โกงกางผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ที่สัดส่วน 90:10 จะให้ค่าดัชนีต้านทานการตกกระแทก และมีสมบัติทางความร้อนดีที่สุดโดยการหาค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ จึงเหมาะที่จะเลือกมาทำเป็นถ่านอัดแท่งที่ใช้งานได้

Abstract

At present, the application of biomass energy used in production to replace the commercial energy consumption to decrease production costs. Because the biomass material remaining from the agricultural sector which has abundant and readily available domestic. The purpose of this research is to study the design and development of machine to produce charcoal briquette by extrusion technique. The machine is designed by using mangrove wood charcoal as the main raw materials and molasses and cassava starch as binder. The heating value evaluation found that basic properties of materials to be used to produce charcoal, including mangrove wood charcoal, cassava starch Molasses and is suitable for used to produce charcoal. The starch, the heating is the most high 15.041 MJ/kg and the mangrove wood charcoal and molasses are13.231 12.148 MJ/kg, respectively. The charcoal has a capacity of 13.76 kilograms per hour. The conclusion, mangrove wood charcoal mixed with starch, the ratio90:10shows that themaximum impact resistance index and the heatvalue determined by a bomb calorimeter. Therefore, it is suitable to be charcoal briquette.

คำหลัก: ถ่านอัดแท่ง/ผงถ่านไม้โกงกาง/เครื่องอัดถ่าน/การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

Keywords: Charcoal Briquette/ Mangrove Charcoal Dust/Charcoal Briquette Machine/ Economics Assessmen

1. บทนำ (Introduction)

เมื่อพิจารณาพื้นฐานของประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม และยังมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากมายและพลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญ ในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์และเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมด้วย จึงต้องมีการจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีราคาเหมาะสม และมีคุณภาพที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้พลังงานซึ่งประเทศไทยในปี พ.ศ.2557 มีปริมาณการใช้พลังงาน 75,804 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน 0.8% คิดเป็นมูลค่ากว่า 1,748 พันล้านบาท และการใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจโดยที่น้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุดคิดเป็น 4.2% ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด ลำดับรองลงมาจะประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้า 19% พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม 10.1% พลังงานหมุนเวียน 8.5% พลังงานจากก๊าซธรรมชาติ 7.3% และพลังงานถ่านหินลิกไนต์ 6.9% (สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยมกราคม–ธันวาคม, 2557) จากข้อมูลดังกล่าวนี้ประเทศไทยยังคงไม่นำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ถึงแม้ว่าปัจจุบันในการหุงต้มจะเปลี่ยนรูปแบบมาใช้หม้อไฟฟ้า หรือเตาแก๊ส แต่ในการประกอบอาหารบางชนิดยังนิยมใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงอยู่ เช่น หมูกระทะ หรืออาหารประเภทปิ้งย่างโดยสามารถสังเกตได้จากสถานประกอบการที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงแต่อย่างไรก็ตามความต้องการถ่านไม้ดังกล่าวก็นำไปสู่การลักลอบถางป่าตัดไม้เผาถ่านส่งผลให้ป่าไม้ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญของประเทศนั้นลดลง

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำถ่านอัดแท่ง โดยการนำเศษผงถ่านไม้โกงกางที่เหลือใช้นั้นมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งโดยมีตัวประสานคือแป้งมันสำปะหลัง และกากน้ำตาลเพื่อที่จะนำถ่านอัดแท่งนี้มาใช้ทดแทนถ่านไม้และถ่านหิน จึงทำให้เกิดงานวิจัยนี้ขึ้นมา

2. วัตถุประสงค์ (Research Objectives)

1) เพื่อศึกษาสมบัติพื้นฐานของผงถ่านไม้โกงกาง เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่ง
2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอัดถ่าน
3) เพื่อศึกษาและพัฒนาสมบัติพื้นฐานของถ่านอัดแท่งจากผงถ่านไม้โกงกาง
4) เพื่อศึกษาศักยภาพทางความร้อนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถ่านอัดแท่ง

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำถ่านอัดแท่งจากผงถ่านไม้โกงกางประกอบด้วย ชีวมวล องค์ประกอบชีวมวล กระบวนการแปรรูปชีวมวล ผงถ่านไม้โกงกาง ถ่านอัดแท่ง กระบวนการอัด การทดสอบคุณภาพชีวมวลตามมาตรฐาน และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

1) ชีวมวล (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2557)

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อยได้จากการผลิตน้ำตาลทรายเศษไม้ที่ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ กากปาล์มได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด กากมันสำปะหลังได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก กาบและกะลามะพร้าวได้จากการนำมะพร้าวมาปอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิ และน้ำมันมะพร้าว ส่าเหล้าได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้นชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้นพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

2) องค์ประกอบชีวมวล

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

2.1) ความชื้น (Moisture)ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์

2.2) ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ สารระเหย (Volatiles matter) และคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ซึ่งสารระเหย คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลที่มีค่า สารระเหยสูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

2.3) ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือขี้เถ้า (Ash)ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีปริมาณขี้เถ้าประมาณ 1-3% ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10-20% ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

3) การอัดแท่ง

การอัดโดยใช้เครื่องอัดความดันสูงที่มีระบบให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิให้พอเหมาะ ในช่วง 160-350 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ส่วนผสมเข้ากันทุกส่วนและยึดกันได้ดี อยู่ในบล็อกแข็งและรูปทรงต่างๆ แสดงดังรูปที่1 โดยทั่วไปแล้ววัสดุธรรมชาติจะมีความชื้น 65% ส่วนถ่านอัดแท่งจะมีความชื้นอยู่ประมาณ 12-18% และสามารถกำจัดความชื้นได้ต่ำสุดให้ เหลือเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต

รูปที่ 1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

ที่มา (ณัฐวัฒน์ คลังทรัพย์และคณะ ถ่านอัดแท่งอนามัยและน้ำส้มควันไม้ ค้นหาเมื่อ 25 มิถุนายน พ.ศ.2558 จาก http://www.rdi.ku.ac.th/)

วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555:13)จำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

3.1) กระบวนการอัดร้อน (Hot press process)

กระบวนการอัดร้อนเป็นการอัดวัสดุโดยให้ความร้อนตลอดเวลาที่ทำการอัด โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับวัสดุที่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดเนื้อวัสดุเข้าหากัน จึงทำให้สามารถยึดเกาะขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน ตัวอย่างวัสดุที่สามารถนำมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดร้อน เช่น แกลบ ขี้เลื่อย ยอดอ้อย ฟางข้าว เปลือกผลไม้ ซังข้าวโพด ชานอ้อย วัชพืชบกหรือน้ำ และผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชที่มีแป้งและน้ำตาล เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวฟ่าง ฯลฯ

3.2) กระบวนการอัดเย็น (Cold press process)

กระบวนการอัดเย็นเหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวได้ด้วยความร้อน มี 2 วิธีคือ

การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน เป็นการอัดเย็นที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปเนื่องจากเครื่องมือและวิธีการที่ง่าย และใช้พลังงานต่ำ ใช้วัสดุมาผสมกับตัวประสาน โดยทั่วไปจะเป็นแป้งมันสำปะหลัง หากวัสดุใดมีขนาดใหญ่ เช่น กะลามะพร้าว ต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการ

การอัดเย็นด้วยแรงอัดสูง เป็นการอัดเย็นระบบใหม่ที่ไม่ต้องใช้ตัวประสานแต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมาก เพื่อให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้ ซึ่งการอัดเย็นประเภทนี้จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูง และใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะไม่ต้องผสมตัวประสาน และไม่มีความจำเป็นที่จะต้องบดวัสดุก่อนเข้าอัดหากวัสดุไม่ได้มีขนาดใหญ่จนเกินไป

4) การทดสอบคุณภาพชีวมวลอัดเม็ดตามมาตรฐาน

การทดสอบคุณภาพชีวมวลอัดเม็ดตามมาตรฐานจะประกอบโดยวิธีการประมาณและProximate Analysis ซึ่งจะเป็นการหาปริมาณของความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้าการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวและการหาค่าความร้อน ค่าที่ได้จะนำมาพิจารณาก่อนที่จะนำชีวมวลนั้นมาอัดเม็ดและประเมินคุณภาพของชีวมวลดังนี้

4.1) ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Drying oven) ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

4.2) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter)

ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175โดยนำตัวอย่างมาเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดที่ปราศจากอากาศเพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้เป็นเวลา 7 นาที แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง

4.3) ปริมาณเถ้า (Ash content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส แล้วจึงเพิ่มความร้อนเป็น 700-750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยทนไฟรวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือ จึงนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

4.4) การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่เผาไหม้ได้ของชีวมวลหลังจากที่จำกัดปริมาณความชื้นปริมาณสารระเหย และปริมาณเถ้าออกแล้ว ซึ่งหาได้โดยการนำเปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ลบออกจาก 100% และทุกค่าต้องอยู่ในสภาวะความชื้นเดียวกัน

4.5) การหาค่าความร้อน (Heating value)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3286 โดยจะนำตัวอย่างของสารมาทำการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ โดยจะต้องมีออกซิเจนอยู่ปริมาณมากเกินพอความร้อนของการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเป็นผลให้อุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูงขึ้น และสามารถคำนวณค่าความร้อนที่เกิดขึ้นได้ โดยมีเครื่องพิมพ์ผลออกมาให้ในหน้ากระดาษและสามารถนำเถ้าที่เหลือจากการหาค่าความร้อนไปหาค่าปริมาณเถ้าได้

5) คุณลักษณะที่ต้องการมีดังต่อไปนี้

5.1) ลักษณะทั่วไป ต้องมีสีดำสม่ำเสมอ ไม่มีเศษดินและไม้ที่เผาไหมที่ไม่สมบูรณ์ปนอยู่

5.2) ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

5.3) ค่าความร้อน ต้องไม่น้อยกว่า 6,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

5.4) เถ้า ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

5.5) สารระเหย ต้องไม่เกินร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

5.6) การใช้งาน เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น มีควันได้เล็กน้อย

6) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกรียงไกร วงศ์สาโรจน์ และคณะ, 2554 ทำการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบรีดเย็น รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในรูปแบบค่าความร้อนและความต้านทานแรงกด วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทดลองคือลำต้นและกิ่งของสบู่ดำนำไปผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ อันได้แก่ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด สารเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานทำมาจากแป้งเปียกและโมลาสเพื่อให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพ ผลการทดลองปรากฏว่าสบู่ดำให้ค่าความร้อนที่สูงที่สุดที่ 15.742 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และจากงานวิจัยนี้พบว่าแกลบให้ค่าความร้อนต่ำสุดคือ 12.393 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และยังให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะแปรผันตรงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำและที่โมลาสเป็นตัวประสาน จากงานวิจัยนี้ได้ทำให้ทราบถึงวิธีการเปรียบเทียบส่วนผสมของชีวมวล 2 ชนิด เพื่อหาค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงกด

ศิริชัย ต่อสกุลและคณะ, 2555 ได้ทำการศึกษาผลิตถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวที่เป็นส่วนผสมกับกะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ถ่าน ไม้เบญจพรรณ ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยทำการทดสอบคุณสมบัติ ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลการทดลองพบว่าถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าวกับถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว ผสมขี้เลื่อยมีสมบัติใกล้เคียงกันทั้งค่าความร้อน ปริมาณความชื้น และระยะเวลาในการ

มอดดับ ซึ่งมีคุณสมบัติในการที่จะเป็นเชื้อเพลิงได้เนื่องจากให้ความร้อนที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มาตรฐานมผช.ที่กำหนดไว้ว่าถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) โดยกากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าวให้ความร้อนสูงสุดประมาณ6,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมจากกะลามะพร้าวให้มีค่าความร้อนสูงที่สุดและมีขนาดถ่านอัดแท่งมีขนาดยาว 12 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1 เซนติเมตร ความหนา 4 เซนติเมตร

สุพรรณ ยั่งยืนและคณะ, 2555 ได้ทำการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบรีดเย็น โดยทำการศึกษากับส่วนผสมชีวมวล 2 ชนิด คือ แกลบเผาผสมกับผักตบชวาบดและแกลบเผาผสมกับกากอ้อยโดยใช้แป้งมันเป็นตัวประสานโดยทั้ง 2 ส่วนผสมทำการศึกษา 3 อัตราส่วน คือ อัตราส่วน 50:37.5:12.5 อัตราส่วน 62.5:25:12.5 และอัตราส่วน 75:12.5:12.5 จากการศึกษาพบว่า แกลบเผาผสมกับกากอ้อยที่อัตราส่วน 75:12.5:12.5 เหมาะสมต่อการอัดแท่งเพลิงชีวมวล เพราะเป็นส่วนผสมที่ทำให้พลังงานความร้อนมากที่สุด คือ 6.672 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และมีความแข็งแรงมาก คือ 3729.98 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร เนื่องจากมีความหนาแน่นมากที่สุดจึงทำให้มีความแข็งแรงมากที่สุด จากการนำไปเผาไหม้เพื่อต้มน้ำยังพบว่า แกลบเผาผสมกับกากอ้อยที่อัตราส่วน 75:12.5:12.5 ยังใช้เวลาในการเผาไหม้นานที่สุดแต่อาจจะติดไฟช้ากว่าอัตราส่วนอื่น

วลัยรัตน์,ธราพงษ์, 2554 ได้ทำการศึกษาการนำตะกอนเปียกเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทนโดยการนำมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นและค่าความร้อน พบว่า มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงาน 13.33% และค่าความร้อนต่ำคือ 13,864.38 กิโลจูลต่อกิโลกรัม จึงเหมาะสมในการนำมาวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพซึ่งภาวะที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการคาร์บอไนเซชันตะกอนเปียกคืออุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 60 นาทีโดยภาวะดังกล่าวมีความชื้น 1.17% สารระเหย 16.57% เถ้า 34.42% และคาร์บอนคงตัว 47.84% เมื่อทราบภาวะคาร์บอไนเซชันเหมาะสมจึงนำตะกอนเปียกมาอัดแบบร้อนและแบบเย็นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้พลังงานความร้อน ซึ่งถ่านอัดแบบเย็นมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง

อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ, 2551 การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมซังข้าวโพดและกะลา มะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน โดยมีสัดส่วนการผสม 30:70 40:60 และ 50:50 ตามลำดับ สัดส่วนการผสมแป้งมันต่อน้ำหนักวัตถุดิบ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นและความต้านทานแรงกด จะแปรผันตามสัดส่วนการผสมผงซังข้าวโพดและผงกะลามะพร้าว แต่แตกต่างกันไม่มาก การทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6,000-6,900 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน ปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.7-5.8% โดยน้ำหนักของอัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5 กิโลกรัมต่อนาที ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800-830 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.0-1.2 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ โดยจุดคุ้มทุนของการผลิตถ่านเชื้อเพลิงประมาณ 9,500 กิโลกรัม จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ สำหรับการนำไปใช้ในครัวเรือนหรือผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

ประสาน สถิตเรืองศักดิ์ และคณะ, 2547 ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบรีดเย็นโดยใช้โมลาสเป็นตัวประสาน ซึ่งในการใช้โมลาสเป็นตัวประสานที่อัตราส่วน 10:100 ไปเป็น 15:100 และ 20:100 ซึ่งมีค่าการต้านทานแรงกดระหว่าง 2.6-2.87 เมกะปาสคาล โดยค่าความต้านทานแรงกดนี้มีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับในระดับอุตสาหกรรม (ค่าที่ยอมรับได้ต่ำสุด 0.375 เมกะปาสคาล) สำหรับค่าความหนาแน่นและการต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าสูงสุดที่สัดส่วนการผสมโมลาสที่ 10:100 และ 20:100 ตามลำดับ สำหรับค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง

ที่อัดได้มีค่าระหว่าง 19.04 -20.33 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งจะสูงสุดที่สัดส่วนการผสมโมลาส ที่ 10:100

ทองทิพย์ พูลเกษม, 2542 ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีการอัดแบบร้อนและเย็น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัด การทดลองได้นำเปลือกทุเรียน 2 พันธุ์ คือ หมอนทองและชะนี ที่มีความชื้น 70%–80% สับเป็นชิ้นเล็กๆตากแดดให้เหลือความชื้นเฉลี่ย 45% จากนั้นนำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง ในเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือแบบอัดร้อนและแบบอัดเย็น 2 วิธี คือ อัดโดยใช้ตัวประสาน (น้ำ หมักชีวภาพและโมลาส) และอัดโดยไม่ใช้ตัวประสาน จากผลการทดลองพบว่าความสามารถอัดเป็นแท่งและคุณภาพเชื้อเพลิงของเปลือกทุเรียนทั้งสองพันธุ์ ไม่แตกต่างกัน เชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบเย็นให้ค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ทั้งแบบอัดโดยใช้ตัวประสานและไม่ใช้ตัวประสาน โดยให้ค่าความร้อนประมาณ 3,600 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ส่วนเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบร้อนจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 3,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งใช้พลังงานเฉลี่ยสูงกว่าการอัดแบบเย็น คือ 0.45 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

4. วิธีการวิจัย (Research Methodology)

1) วัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยผงถ่านไม้โกงกางขนาด 50 เมช (Mesh) เป็นวัสดุหลักในการทดลอง และตัวประสาน คือกากน้ำตาล (Molasses)แป้งมันสำปะหลัง ใช้เป็นตัวประสาน

2) เครื่องมือในการวิจัย

2.1) ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Memmertรุ่น UF100

2.2) เตาเผาไฟฟ้าแบบ Muffle ยี่ห้อ Lentonรุ่น AWF 12/12

2.3) เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์(Bomb calorimeter) ยี่ห้อ Calak-1

2.4) เครื่องวัดก๊าซเผาไหม้ ยี่ห้อ Bacharach PCA 3

2.5) กล้องอินฟราเรด ยี่ห้อ FLUKE รุ่น Ti400

2.6) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 5 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น DV215CD

2.7) เตาอังโล่

2.8) เครื่องชั่งสปริง ยี่ห้อ Trademark รุ่น 7 กิโล

3) อุปกรณ์ทั่วไปที่ใช้ในการทดลอง

3.1) ถ้วยทนไฟ (Crucible)

3.2) โถดูดความชื้น (Desiccator) ยี่ห้อ DURAN

3.3) ขวดน้ำกลั่น

3.4) บีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.5) บีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.6) ช้อนตักสารเคมี

3.7) ถาดสเตนเลส

3.8) แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

3.9) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

3.10) ถ้วยเตรียมสาร

3.11) ถุงพลาสติก

3.12) นาฬิกาจับเวลา

3.13) หม้ออลูมิเนียมเบอร์ 24

4) วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์สมบัติโดยทั่วไปของเชื้อเพลิงแข็ง ในการวิจัยนี้ทำการศึกษาและขึ้นรูปโดยมีการทดสอบสมบัติวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง การศึกษาสมบัติของชีวมวลและตัวประสานการออกแบบและสร้างเครื่องอัดถ่านรวมถึงการทดสอบอัตราการผลิตเครื่องอัดถ่านการวิเคราะห์สมบัติโดยทั่วไปของถ่านอัดแท่งทางด้านกายภาพและทางความร้อน การวิเคราะห์ศักยภาพทางความร้อนและเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบและการคำนวณแสดงดังต่อไปนี้

การทดสอบสมบัติวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งการทดสอบสมบัติวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งประกอบด้วยการหาค่าความชื้น(Moisture content) การหาปริมาณสารระเหย (Volatile matters) การหาปริมาณเถ้า (Ash)การหาปริมาณคาร์บอนเสถียร (Fixed carbon) และการหาค่าความร้อน (Calorific value)

4.1) การหาค่าความชื้น (Moisture content) ตามมาตรฐาน ASTM D3173 การหาค่าความชื้นของวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1.1) นำถ้วยทนไฟ (Crucible) เผาในเตาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

4.1.2) นำออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccators) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.1.3) ชั่งน้ำหนักของถ้วยทนไฟ

4.1.4) เผาถ้วยทนไฟจนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่หรือลดลงน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม

4.1.5) ใส่เชื้อเพลิงลงในถ้วยทนไฟประมาณ 1 + 0.005 กรัม (น้ำหนักผึ่งแห้ง)

4.1.6) นำไปอบโดยเปิดฝาถ้วยทนไฟที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา2 ชั่วโมง

4.1.7) นำถ้วยทนไฟออกมาทิ้งไว้ในเย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.1.8) นำไปชั่งน้ำหนัก และอบซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักลดน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม (น้ำหนักอบแห้ง)

4.1.9) คำนวณหาค่าความชื้นจากสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณความชื้น}(\%) = \frac{A - B}{A} \times 100 \qquad (1)$$

A = น้ำหนักผึ่งแห้ง (Air-dry weight) (กรัม)

B = น้ำหนักอบแห้ง (Oven-dry weight) (กรัม)

4.2) การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matters) ตามมาตรฐาน ASTM D3175การหาปริมาณสารระเหย (Volatile matters) ของวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.2.1) ใส่เชื้อเพลิงลงในถ้วยทนไฟ1 + 0.005 กรัม (น้ำหนักอบแห้ง)

4.2.2) เผาเชื้อเพลิงในถ้วยทนไฟ พร้อมทั้งปิดฝาเพื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ950 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 7 นาที แล้วจึงนำออกมาจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

4.2.3) ชั่งน้ำหนักของถ้วยทนไฟและตัวอย่างที่เหลืออยู่

4.2.4) คำนวณหาปริมาณสารระเหยจากสมการที่ (2)

$$\text{ปริมาณสารระเหย}(\%) = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad (2)$$

B = น้ำหนักอบแห้ง (Oven-dry weight) (กรัม)

C = น้ำหนักของเชื้อเพลิงหลังอบที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส (กรัม)

4.3) การหาปริมาณเถ้า (Ash) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3174การหาปริมาณเถ้า (Ash) ของวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.3.1) นำเชื้อเพลิงจำนวน 1 กรัม ใส่ในถ้วยทนไฟ

4.3.2) นำไปใส่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4.3.3) นำถ้วยทนไฟออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.3.4) ชั่งน้ำหนักถ้วยทนไฟแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา1 ชั่วโมงโดยน้ำหนักต้องลดลงไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม

4.3.5) คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสมการที่ (3)

$$\text{ปริมาณเถ้า}(\%) = \frac{D}{B} \times 100 \qquad (3)$$

B = น้ำหนักอบแห้ง (Oven-dry weight) (กรัม)

D = น้ำหนักหลังอบที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส (กรัม)

4.4) การหาปริมาณคาร์บอนเสถียร (Fixed carbon) ใช้วิธีการคำนวณโดยสมการที่ (4)

$$FC = 100\% - MC\% - VM\% - AC\% \qquad (4)$$

FC = ปริมาณคาร์บอนเสถียร (Fixed carbon)(%)

MC = ปริมาณความชื้น (Moisture content) (%)

VM = สารระเหย (Volatile Matters) (%)

AC = ปริมาณเถ้า (Ash content)(%)

4.5) การหาค่าความร้อน (Calorific value) ตามมาตรฐาน ASTM D2015ทำการทดสอบด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.5.1) ชั่งเชื้อเพลิงน้ำหนัก 0.5 + 0.05 (กรัม)

4.5.2) นำเชื้อเพลิงที่ชั่งได้ไปอัดให้แน่น แล้วนำไปชั่งพร้อมบันทึกค่าน้ำหนัก

4.5.3) ผูกด้ายที่ขดลวด

4.5.4) วางเชื้อเพลิงอัดแน่นลงในถ้วย โดยให้ทับด้าย ที่ผูกไว้

4.5.5) ใส่ในลูกบอมบ์แล้วปิดฝาให้แน่น

4.5.6) ตรวจสอบออกซิเจนในถัง ตั้งค่าให้เป็น 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4.5.7) อัดก๊าซออกซิเจนเข้าลูกบอมบ์ให้ได้ความดัน 3,000 กิโลปาสคาล

4.5.8) นำลูกบอมบ์ที่บรรจุก๊าซออกซิเจนแล้วใส่ลงในเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

4.5.9) กดปุ่ม I หน้าจอจะแสดง sample ID ให้กดใส่หมายเลขตัวอย่างที่ทดสอบแล้วกด enter จากนั้นกดปุ่ม M เครื่องจะแสดง mass ให้กดใส่ค่าน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่บันทึกไว้จากข้อ 2) ป้อนค่าน้ำหนักเสร็จแล้วให้กด enter จากนั้นกด S เพื่อเลือก sample ที่ตั้งไว้ เมื่อตรงตัวอย่างต้องการระบุแล้วให้กด enter เครื่องจะเริ่มทำงาน

4.5.10) สถานะแสดงการทำงานของเครื่องเริ่มแสดงสถานะเริ่มต้น (Initial) สถานะจุดระเบิด (Firing) และสถานะหลังจุดระเบิด (Final) ตามลำดับ

4.5.11) เครื่องทำงานเสร็จจะแสดงสถานะ Done พร้อมมีไฟกระพริบหน้าเครื่อง

4.5.12) อ่านและบันทึกผลค่าความร้อนที่เครื่องทดสอบได้

4.5.13) เปิดฝาเครื่อง นำลูกบอมบ์ออกจากเครื่องบอมบ์

4.5.14) ทำการปล่อยก๊าซในลูกบอมบ์ออก

4.5.15) นำลูกบอมบ์ใส่ในเครื่องทำความเย็น (Cooler) เพื่อลดอุณหภูมิ

5. ผลการวิจัย (Results)

ผลการวิจัยประกอบด้วยผลการทดลองสมบัติของวัสดุที่มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง อัตราการผลิตถ่านอัดแท่ง และสมบัติของถ่านอัดแท่งหลังขึ้นรูป ทั้งสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน

1) ผลการทดลองสมบัติวัสดุที่มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง

ผลการทดลองสมบัติของวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัด ได้แก่ ปริมาณความชื้นปริมาณสารระเหยปริมาณเถ้าปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน

1.1) ปริมาณความชื้น (Moisture content) ของผงถ่านไม้โกงกาง

ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณความชื้นตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 ของผงถ่านไม้โกงกางซึ่งเป็นวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่1 ปริมาณความชื้นของผงถ่านไม้โกงกาง

ตัวอย่าง	A (กรัม)	B (กรัม)	ปริมาณความชื้น (%)
1	1.002	0.952	4.990
2	1.001	0.945	5.594
3	1.003	0.948	5.484
เฉลี่ย			5.356

จากตารางที่ 1 แสดงปริมาณความชื้นของผงถ่านไม้โกงกางหลังปรับปรุงคุณภาพ จากผลการทดลองพบว่าค่าปริมาณความชื้นของผงถ่านไม้โกงกางมีค่าเฉลี่ยคือ 5.356% ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน จึงเหมาะที่จะนำมาเป็นวัสดุที่จะผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง

1.2) ปริมาณสารระเหย (Volatile matters) ตามมาตรฐาน ASTM D 3175การทดลองเพื่อหาปริมาณสารระเหย ของผงถ่านไม้โกงกางซึ่งเป็นวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2ปริมาณสารระเหยของผงถ่านไม้โกงกาง

ตัวอย่าง	B (กรัม)	C (กรัม)	ปริมาณสารระเหย (%)
1	1.000	0.397	60.273
2	1.000	0.374	62.622
3	1.003	0.379	62.256
เฉลี่ย			61.717

จากตารางที่ 2 แสดงการหาค่าปริมาณสารระเหยของผงถ่านไม้โกงกาง จากการทดลองพบว่าค่าปริมาณสารระเหยของผงถ่านไม้โกงกาง มีค่าเฉลี่ยคือ 61.717% ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตรฐาน พบว่าค่าปริมาณสารระเหยส่งผล

ต่อสมบัติถ่านอัดแท่งคือถ้าปริมาณสารระเหยมากส่งผลให้เชื้อเพลิงติดง่ายได้ค่าความร้อนสูง

1.3) ปริมาณเถ้า (Ash) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3174การหาปริมาณเถ้า (Ash) ของวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3ปริมาณเถ้าของผงถ่านไม้โกงกาง

ตัวอย่าง	B (กรัม)	D (กรัม)	ปริมาณเถ้า (%)
1	1.001	0.273	27.243
2	1.000	0.208	20.800
3	1.001	0.303	30.270
เฉลี่ย			26.104

จากตารางที่ 3 แสดงการหาค่าปริมาณเถ้าของผงถ่านไม้โกงกาง จากการทดลองพบว่าค่าปริมาณเถ้าของผงถ่านไม้โกงกางเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 26.104%

1.4) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) สามารถคำนวณหาหาค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4ปริมาณคาร์บอนคงตัวของผงถ่านไม้โกงกาง

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณสารระเหย (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)
1	4.990	60.273	27.243	7.494
2	5.594	62.622	20.800	10.984
3	5.484	62.256	30.270	1.990
เฉลี่ย				6.822

จากตารางที่ 4 แสดงการหาค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของผงถ่านไม่โกงกาง จากการทดลองพบว่าค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยเท่ากับ 6.822%

1.5) การหาค่าความร้อน (Calorific value) ตามมาตรฐาน ASTM D 2015ทำการทดลองด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) โดยทำการทดลองหาค่าความร้อนของผงถ่านไม้โกงกางและตัวตัวประสานแป้งมันสำปะหลัง และกากน้ำตาล ที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่ง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าความร้อนของผงถ่านไม้โกงกาง แป้งมันสำปะหลัง และกากน้ำตาล

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน(MJ/kg) ผงถ่านไม้โกงกาง	แป้งมันสำปะหลัง	กากน้ำตาล
1	13.380	14.975	12.158
2	12.719	15.107	12.142
3	13.594	15.041	12.145
เฉลี่ย	13.231	15.041	12.148

จากตารางที่ 5 แสดงค่าความร้อนของผงถ่านไม้โกงกาง แป้งมันสำปะหลัง และกากน้ำตาล จากการทดลองพบว่าค่าความร้อนของผงถ่านไม้โกงกางต่ำกว่าตัวประสาน คือ 13.231 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ค่าความร้อนของแป้งมันสำปะหลัง คือ 15.041 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ค่าความร้อนของกากน้ำตาล คือ 12.148 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าตัวประสานแป้งมันสำปะหลังจะให้ค่าความร้อนสูงที่สุด

2) การทดสอบและหาอัตราการผลิตถ่านอัดแท่งจากผงถ่านไม้โกงกางอัตราการผลิตจะทดสอบโดยการอัดถ่านต่อเนื่อง 5 นาที จำนวน 5 ครั้ง ตามสัดส่วนที่กำหนด ซึ่งมีผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การทดสอบหาอัตราการผลิตของถ่านอัดแท่งจากผงถ่านไม้โกงกาง

อัตราการผลิตถ่านอัดแท่ง (จำนวนก้อน)						
ตัวประสาน	แป้งมันสำปะหลัง			กากน้ำตาล		
ครั้งที่	90:10	85:15	80:20	90:10	85:15	80:20
1	10	12	11	10	10	11
2	13	13	12	11	12	10
3	12	12	12	9	12	12
4	12	11	11	11	11	12
5	13	12	12	10	13	12
เฉลี่ย5 นาที	12	12	11.6	10.2	11.6	11.4
เฉลี่ยต่อชั่วโมง	144.0	144.0	139.2	122.4	139.2	136.8
เฉลี่ย	137.6 ก้อนต่อชั่วโมง					
	13.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง					

เนื่องจากถ่านอัดแท่ง 1 ก้อน หนัก 100 กรัมจากตารางที่ 6 แสดงการทดสอบหาอัตราการผลิตของถ่านไม้โกงกางอัดแท่งจากเครื่องอัดถ่านที่ออกแบบและสร้างขึ้น ได้ผลการทดสอบ คือได้อัตราการผลิตเฉลี่ย 137.6 ก้อนต่อชั่วโมง คิดเป็นน้ำหนักประมาณ 13.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมงถ้ากำหนดให้เครื่องอัดถ่านผลิตถ่านอัดแท่ง 8 ชั่วโมงต่อวันจะได้ถ่านอัดแท่ง 8 x 14 =112 กิโลกรัมต่อวัน และถ้าหากผลิต 365 วันต่อปีจะสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ 40,880 กิโลกรัมต่อปีหรือประมาณ 40 ตันต่อปี

3) ผลการทดสอบสมบัติถ่านอัดแท่ง

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งประกอบด้วยสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน มีผลทดลองดังนี้

3.1) สมบัติทางกายภาพ

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งโดยการทดสอบค่าดัชนีต้านทานการตกกระแทก มีผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าดัชนีต้านทานการตกกระแทกของถ่านอัดแท่งจากผงถ่านไม้โกงกางโดยใช้ตัวประสานแป้งมันสำปะหลังและตัวประสานกากน้ำตาล

ดัชนีต้านทานการตกกระแทก (%)		
สัดส่วน	ตัวประสาน แป้งมันสำปะหลัง	ตัวประสาน กากน้ำตาล
90:10	99.11	93.89
85:15	95.64	99.15
80:20	93.19	91.89

จากตารางที่ 7 แสดงค่าดัชนีต้านทานการตกกระแทกจากการทดสอบพบว่าตัวประสานแป้งมันสำปะหลังที่สัดส่วน 90:10, 85:15 และ 80:20 ให้ค่าดัชนีการต้านทานการตกกระแตก 99.11%, 95.64% และ 93.19% ตามลำดับ โดยที่สัดส่วน 90:10 มีค่าดัชนีการตกกระแทกที่สูงที่สุด และจากการทดสอบพบว่าตัวประสานกากน้ำตาลที่สัดส่วน 90:10, 85:15 และ 80:20 ให้ค่าดัชนีการต้านทานการตกกระแตก 93.89% 99.15% และ 91.89% ตามลำดับ โดยที่สัดส่วน 85:15มีค่าดัชนีการตกกระแทกที่สูงที่สุด

3.2) สมบัติทางความร้อน

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน ได้แก่ การหาค่าความร้อน (Calorific value) ตามมาตรฐาน ASTM D 2015 ทำการทดสอบหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากผงถ่านไม้โกงกางที่ใช้ ตัวประสานแป้งมันสำปะหลัง และตัวประสานกากน้ำตาล

	แป้งมันสำปะหลัง			กากน้ำตาล		
สัดส่วน	90:10	85:15	80:20	90:10	85:15	80:20
1	17.466	17.945	16.665	15.915	16.638	16.136
2	17.956	16.152	17.065	14.371	16.233	16.601
3	18.240	18.651	18.551	16.212	15.967	16.653
เฉลี่ย	17.887	17.583	17.427	15.499	16.279	16.463

จากตารางที่ 8 แสดงค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ โดยพบว่าถ่านอัดแท่งตัวประสานแป้งมันสำปะหลังที่สัดส่วน 90:10 ให้ค่าความร้อนสูง คือ 17.887 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม รองลงมาคือสัดส่วน 85:15 และ 80:20 ให้ค่าความร้อน 17.583 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมและ 17.427 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และที่ตัวประสานกากน้ำตาลที่สัดส่วน 80:20 ให้ค่าความร้อน 16.463 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม รองลงมาคือสัดส่วน 85:15 และ 90:10 ให้ค่าความร้อน 16.279 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และ 15.499 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมตามลำดับ

4) ผลการประเมินศักยภาพทางความร้อนและเศรษฐศาสตร์

การทำวิจัยนี้ได้ทำการประเมินศักยภาพทางความร้อนและเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมีผลการคำนวณดังต่อไปนี้

4.1) การประเมินศักยภาพทางความร้อน

การประเมินศักยภาพทางความร้อนเป็นการนำค่าความร้อนและจำนวนการผลิตถ่านอัดแท่งมาเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของถ่านหิน และคำนวณการทดแทนนำเข้าของถ่านหิน ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

ถ่านอัดแท่งมีค่าความร้อน 17.887 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม โดยมีกำลังการผลิตจากเครื่องอัดถ่าน 13.76

กิโลกรัมต่อชั่วโมง ถ้าผลิต 365 วัน วันละ 8 ชั่วโมง จะสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ 40,880 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งคิดเป็นศักยภาพทางความร้อน 731,220.56 เมกกะจูล เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านหิน 1 กิโลกรัม มีค่าความร้อน 26.37 เมกกะจูล ดังนั้นหากสามารถนำถ่านอัดแท่งมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสามารถทดแทนถ่านหินได้ 27,729.26 กิโลกรัมต่อปี หรือ 27.73 ตันต่อปี ปัจจุบันถ่านหินนำเข้า ราคา 2,825 บาทต่อตัน (ชี้แจงการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft) สำหรับ เดือนมกราคม – เมษายน 2559, หน้า 3) เมื่อพิจารณาศักยภาพทางความร้อนสามารถคิดเป็นผลประหยัดปีละ 78,337.25 บาท

4.2) การประเมินศักยภาพเศรษฐศาสตร์

ผลการประเมินศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ สามารถคำนวณได้ดังนี้ถ่านอัดแท่ง 1 ก้อน มีน้ำหนักก้อนละ 100 กรัม ต้นทุนราคา 0.3 บาท ดังนั้นถ้าถ่านอัดแท่ง 1 กิโลกรัม เท่ากับ 10 ก้อน ต้องลงทุนประมาณ 3 บาทต่อกิโลกรัม ต้นทุนวัสดุในการผลิตเครื่องเครื่องอัดถ่าน คือ 17,565 บาท กำลังการผลิตจากเครื่องอัดถ่าน 13.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ถ่านอัดแท่งราคาขายกิโลกรัมละ 15 บาท จะได้กำไร 12 บาทต่อกิโลกรัม 1 วันจะสามารถผลิตได้ คือ 137.6 x 8 = 1,100 ก้อน/วัน กำลังการผลิต 110 กิโลกรัม/วัน ดังนั้นสามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุน 17,565/(110 x 12) = 13.3 วัน หรือ 14 วัน ดังนั้นจะต้องผลิตถ่านอัดแท่ง ในระยะเวลา 14 วัน จะคุ้มเงินลงทุนสำหรับเครื่องอัดถ่าน

6. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ถ่านอัดแท่งที่ผลิตขึ้นมีผงถ่านไม้โกงกางเป็นวัตถุดิบหลักและมีแป้งมันสำปะหลังและกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน ทั้งหมด 6 สูตรที่ใช้ในการทดลอง ในกรณีที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ที่สัดส่วน 90:10 นี้มีคุณสมบัติที่ดีต่อการที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีความทนทานต่อการตกกระแทกที่สูง ส่งผลทำให้สามารถขนส่งระยะทางไกลได้ดีกว่าสูตรอื่นๆ และยังมีค่าความร้อนที่สูงกว่าสัดส่วนอื่นๆที่ทดลองอีกด้วย ดังนั้นในการส่งเสริมการผลิตถ่านอัดแท่งนี้

7. สรุป(Conclusions)

การผลิตถ่านอัดแท่งจากผงถ่านไม้โกงกางโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยมีแป้งมันสำปะหลัง และกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน ซึ่งถ่านอัดแท่งทั้งหมดที่ศึกษาของตัวประสานแป้งสำปะหลังมี 3 สูตร และตัวประสานกากน้ำตาล 3 สูตร โดยสัดส่วนระหว่างผงถ่านและตัวประสานเป็น 90:10 85:15 และ 80:20 ซึ่งรวมแล้วจะมีทั้งหมด 6 สูตร ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มีสมบัติพื้นฐานและสมบัติทางความร้อน เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM

งานวิจัยนี้พบว่าสมบัติพื้นฐานของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ผงถ่านไม้โกงกาง แป้งมันสำปะหลัง และกากน้ำตาล มีค่าที่เหมาะต่อการที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยที่แป้งมันสำปะหลังให้ค่าความร้อนสูงที่สุด คือ 15.041 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม รองลงมาคือผงถ่านไม้โกงกาง และกากน้ำตาล คือ 13.231 และ 12.148 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมตามลำดับ

จากการวิจัยในส่วนของเครื่องอัดเครื่องอัดถ่านได้ทำการทดลองอัดถ่านต่อเนื่อง 5 นาที จำนวน 5 ครั้ง ตามสัดส่วนต่างที่กำหนดไว้ จากการทดลองพบว่าถ้าหากอัดถ่านต่อเนื่องในเวลา 1 ชั่วโมงจะได้ถ่านอัดแท่ง 136.6 ก้อน หรือ 13.76 กิโลกรัม

จากการวิจัยสมบัติของถ่านอัดแท่งโดยการทดสอบค่าดัชนีต้านทานการตกกระแทกของถ่านอัดแท่งจากผลการทดลองพบว่าถ้าเพิ่มสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังแล้วจะทำให้ถ่านอัดแท่งนี้มีค่าดัชนีต้านทานการตกกระแทกต่ำ และสัดส่วนที่เหมาะสมคือ 90:10 ซึ่งแตกต่างกับตัวประสานกากน้ำตาลถ้าเพิ่มจะมีดัชนีการตกกระแทกที่ดีที่สุด ที่สัดส่วน 85:15

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า ถ่านอัดแท่งจากตัวประสานแป้งมันสำปะหลัง ที่สัดส่วน 90:10 มีค่าความร้อนจากการทดสอบจากเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์สูงที่สุด จึงเหมาะต่อการที่จะเลือกมาทำเป็นถ่านอัดแท่งที่ใช้งานได้ และพบว่าทั้ง 2 ตัวประสานนี้ถ้ายิ่งเพิ่มตัวประสานจาก 90:10 เป็น 85:15 และ 80:20 นี้จะทำให้ค่าความร้อนที่ทำการทดลองนั้นลดลงตามลำดับ

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน และหน่วยวิจัยและประยุกต์พลังงานทดแทน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง (Reference)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). **แนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน**.กรุงเทพฯ:

กระบวนการแปรรูปชีวมวล,**พลังงานทดแทน**,25 November 2014 from,https://sites.google.com/site/phlangnganthdthaen/phlangngan-chiw-mwl/krabwnkar-paerrup-chiw-mwlop

เกรียงไกร วงศ์สาโรจน์ และคณะ. (2554).**การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบรีดเย็น, การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำ**, วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 (65-72) มกราคม-มีนาคม 2554 หน้า 65-72

ถ่านอัดแท่ง,Glassware Chemicalเครื่องแก้ว สารเคมี อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ,25 November 2014 from ,http://glasswarechemical.com/chemicals/ถ่านอัดแท่ง/

ทองทิพย์ พูลเกษม. (2542). **ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน.**กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยมหิดล.

นายสง่า อารีเอื้อและคณะ,ประโยชน์และคุณลักษณะ ,นวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ หุ่นยนต์และโครงงานวิทยาศาสตร์สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ,25 November 2014 from,http://118.175.21.17/innovation/bverd/bb_project

ประสาน สถิตเรืองศักดิ์และคณะ. (2547). **ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นแบบรีดเย็นโดยใช้โมลาสเป็นตัวประสาน**

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2557). 25 November fromhttp://www.efe.or.th

วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม , ธราพงษ์ วิทิตศานท์. (2554). **การผลิตถ่านอัดแท่งจากตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้น,การนำตะกอนเปียกเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทน,วิจัยพลังงาน**,ปีที่8 ฉบับที่2554/3 หน้า 1-19

ศิริชัย ต่อสกุล และคณะ. (2555). **การผลิตถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว,การผลิตถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว**,การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555 ระหว่าง 17-19 ตุลาคม 2555

สุพรรณ ยั่งยืน และคณะ,2012,**การหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแบบรีดเย็น,สัดส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบรีดเย็น**, Vol 32, No 5, September-October 2013 วารสาร J SciTechnol MSU หน้า 653-658

อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ. **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมซังข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน,การประชุมวิชาการ เครือข่ายการวิจัยของสถาบันอุดมศึกษา**, 17-19 มกราคม 2551

อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์, 2543,**พลังงานเบื้องต้น**, หน้า 148-151

การปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน ด้วยเตาขนาด 200 ลิตร

Improvement Model and Charcoal Production Techniques with Stove size 200 liters

ลุตฟี สือนิ* และพิสิษฏ์ มณีโชติ

Lutfee Seni* and Pisit Maneechot

สาขาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

*E-mail: lutfee_052@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร โดยการปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน โดยใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่าน ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตถ่านจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แนวตั้ง แบบปรับปรุงรูปแบบแล้ว และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน โดยทำการทดสอบฉนวน 3 ชนิด คือ ดิน ทราย และแกลบดำ ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงภายในเตาเผาที่ตำแหน่งต่างๆ และวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตถ่าน แล้วนำตัวอย่างถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากกระบวนการผลิตไปทำการทดสอบคุณภาพถ่าน ผลการทดสอบ พบว่าเตาเผาถ่านแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเตาเผาถ่านแบบไม่มีฉนวน เปรียบเทียบโดยการเพิ่มฉนวนพบว่าเตาเผาถ่านที่ใช้ดินเป็นฉนวนกันความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผา 779.5 ^{o}C และอุณหภูมิของเตาโดยเฉลี่ย 662.2 ^{o}C เวลาที่ใช้ในการปิดเตา 70 นาที และเวลาที่ใช้ทั้งสิ้นของกระบวนการผลิตถ่าน 267 นาที หรือประมาณ 4 ชั่วโมง เตาจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และจากการทดสอบการดูดซับไอโอดีน ของตัวอย่างถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน พบว่าถ่านที่ได้จากเตาเผาถ่านที่เพิ่มฉนวนจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่าถ่านที่ได้จากเตาแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน

Abstract

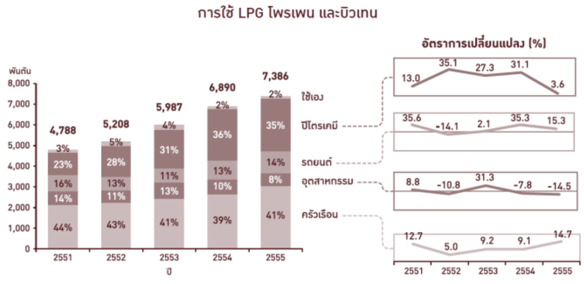
This research a study Improvement model and charcoal production techniques with stove size 200 liters. Using coconut shells as raw material in the production of charcoal. Evaluate the performance of charcoal produced from the improve form stove vertical size 200 liters and adding insulation. At tested three types of soil, sand and rice husk ash compared temperature changes at various positions inside the furnace. And analyze the terms used in the charcoal production. Then test the quality charcoal produced. Test results showed that the stove add insulation to a temperature above the stove without insulation. Comparison by adding insulation found that the stove used soil as insulation maximum temperature inside 779.5 ^{o}C and the temperature of the oven, on average, 662.2 ^{o}C, time spent in the closed oven 70 minutes, and it takes all. The charcoal production is 267 minutes or about four hours, the temperature of the ambient air temperature. And test to absorb iodine. Samples of charcoal production by stove size 200 liter and improved insulation. Found that charcoal production stove to add insulation to the absorption of iodine that charcoal derived from stove without insulation.

คำสำคัญ: เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน

Keywords: Improvement model and charcoal production techniques with stove size 200 liters.

1. บทนำ

ปัจจุบันประชาคมโลกรวมถึงประเทศไทยได้ให้ความสำคัญในการพัฒนาด้านพลังงานทดแทน และได้ตระหนักถึงปัญหาด้านพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตทั้งทางด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกิดจากฟอสซิล และนับวันประชากรโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและรวดเร็วทำให้การใช้พลังงานสูงมากขึ้นตามไปด้วย จากรายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย ปี 2556 สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน โดยปี 2555 ประเทศไทยมีปริมาณการใช้ LPG ที่ระดับ 7,386 พันตัน และในสาขาครัวเรือนมีสัดส่วนการใช้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 41 ของปริมาณการใช้ทั้งหมด มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.7 อยู่ที่ระดับ 3,047 พันตัน [1]



ปี 2555	ครัวเรือน	อุตสาหกรรม	รถยนต์	ปิโตรเคมี	ใช้เอง	รวม
ปริมาณการใช้ (พันตัน)	3,047	614	1,061	2,555	110	7,386
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)	14.7	-14.5	15.3	3.6	-16.0	7.2

รูปที่ 1 การใช้แก๊สแอลพีจีของประเทศไทย

ซึ่งรัฐบาลได้กำหนดกลยุทธ์การส่งเสริมพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตพลังงานทดแทนอื่นๆ และได้มอบหมายให้กระทรวงพลังงานจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) หรือ Alternative Energy Development Plan : AEDP (2012-2021) เพื่อกำหนดกรอบ และทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ จึงได้มีการคิดค้นพลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล [2] แต่อย่างไรก็ดีประเทศไทยโดยส่วนมากจะมีอาชีพเกษตรกรเป็นหลัก ทำให้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนได้เป็นอย่างดี เช่น เศษไม้ แกลบ กะลามะพร้าว

ถ่านเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นในการใช้ประกอบอาหารหรือการทำผลิตภัณฑ์สินค้าต่างๆ ในอดีตการผลิตถ่านส่วนใหญ่ได้มาจากไม้ธรรมชาติโดยการนำฟืนหรือไม้ที่ตัดมาเผาเป็นการกำจัดสารที่ไม่ให้พลังงานออกไป เมื่อฟืนผ่านกระบวนการเผาจะได้ถ่านที่มีสีดำลักษณะมีรูพรุนและมีน้ำหนักเบา แต่เมื่อนำมาใช้จะก่อให้เกิดมลพิษ คือ เกิดควัน กลิ่นฉุน แสบตา เกิดการประทุ ให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอและเป็นการทำลายธรรมชาติทางอ้อมอีกด้วย ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในทุกๆ ด้าน มีการประดิษฐ์คิดค้น โดยการออกแบบและสร้างเตาลักษณะต่างๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพของถ่านให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์ เช่น เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร

ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญ และสนใจในการศึกษาการปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน ด้วยเตาขนาด 200 ลิตร และได้ปรับปรุงรูปแบบเตาผลิตถ่านโดยการเพิ่มท่อทรงกรวยตรงกลางของตะแกรงชั้นวางชีวมวล เมื่อจุดไฟจากด้านล่างของเตาความร้อนจะสลายโครงสร้างทางชีวเคมีที่อยู่ในเนื้อไม้จนเกิดเป็นแก๊สเชื้อเพลิง จากนั้นความร้อนจะลอยขึ้นสู่ด้านบนท่อทรงกรวย ทำให้ความร้อนกระจายไปยังไม้ฟืนได้อย่างทั่วถึง ทั้งนี้ได้ใช้เทคนิคการผลิตถ่าน โดยการใส่หญ้าสดโปะด้านบนเนื่องจากหญ้ามีความชื้นในการดึงความร้อนขึ้นมาสู่ด้านบนของเตา โดยความชื้นจะผลิตไฮโดรเจนขึ้นมาทำให้เกิดกระบวนการความร้อนที่สูงขึ้น กระบวนการนี้เป็นเทคนิคพิเศษของเตาผลิตถ่านชนิดนี้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เพิ่มฉนวนกันความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาให้สูงขึ้น เพื่อให้ลดระยะเวลาในการผลิต และทำให้ถ่านที่ได้มีคุณภาพสูงกว่าเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แนวตั้ง แบบเดิม อีกทั้งเตาเผาถ่านที่ได้รับการปรับปรุงรูปแบบแล้วสามารถที่จะเพิ่มมูลค่าของถ่านในการนำไปทำผลิตภัณฑ์อื่นนอกจากเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเปรียบเทียบคุณภาพถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบแล้ว และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ แท่งวัดความร้อน เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) พร้อมสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ไทพ์เคล์ (Type K) และเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Graphtec midi Logger GL840)

2. เครื่องมือวัดความชื้นชีวมวล (Moisture meter) วัดความชื้นของกะลามะพร้าว

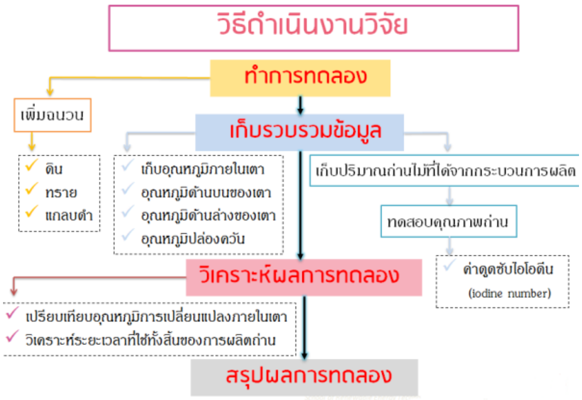
3. เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แนวตั้ง แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และทำการเพิ่มฉนวนกันความร้อนในการทดสอบ 3 ชนิด ได้แก่ ดิน ทราย และแกลบดำ

รูปที่ 2 เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่านที่ทำการเพิ่มฉนวนกันความร้อน

ITEM NO.	PART NAME	DESCRIPTION	QTY.
1	ถังน้ำมัน 200 ลิตร		1
2	ท่อปล่องควัน	เชื่อมประกอบท่อ 2* และ 3*	3
3	ปล่องเร่ง		1
4	ช่องป้อนเชื้อเพลิงหน้าเตา	ประกอบด้วยเหล็กแผ่นบางและเหล็กฉาก 1*	1
5	ฝาถัง		1
6	ตะแกรง		1

รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แนวตั้ง แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่

วิธีดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 4 ขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลงานวิจัย

ศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางการวิจัยในหัวข้อ การปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่านด้วยเตาขนาด 200 ลิตร ศึกษาความเป็นไปได้ในการหาวัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านกะลามะพร้าว ซึ่งกะลามะพร้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นิยมนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากเมื่อนำไปใช้แล้ว จะมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี เกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็ว และให้ความร้อนสูง เนื่องจากมีรูพรุนสูงกว่าถ่านประเภทอื่นๆ และยังมีคุณสมบัติดูดซับกลิ่นต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

สามารถนำมาทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ เครื่องดูดความชื้น กลิ่นอับต่างๆ รวมถึงลักษณะที่แกร่งเป็นมัน เมื่อนำมากระตุ้นจะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความแกร่งสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากวัสดุอื่น (ลือพงษ์ ลือนาม; และสมศักดิ์ คูหาสวรรค์. 2551: 3)

ตอนที่ 2 วิธีการทดลอง

1. นำกะลามะพร้าวที่ตากแดดจนแห้ง ทำการวัดความชื้นโดยการสุ่มก่อนนำไปใส่ตะแกรงวางในเตาเผาถ่าน

2. ทำการเผาจนเสร็จสิ้นกระบวนการเผาถ่าน โดยทำการเผาด้วยเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร ทั้ง 2 แบบด้วยกัน

1) เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แนวตั้ง แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่และเทคนิคการผลิตถ่าน

2) เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แนวตั้ง แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่และเทคนิคการผลิตถ่าน โดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน

ตอนที่ 3 เก็บรวบรวมข้อมูล

1. เก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งต่างๆ คือ ด้านบนของเตา ตรงกลางเตา ด้านล่างของเตา และอุณหภูมิปล่องควันด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิทำการเผาถ่านจากเตาเผาถ่านทั้ง 2 แบบ

2. เก็บปริมาณถ่านไม้ที่ได้จากกระบวนการผลิตด้วยเตาเผาถ่านทั้ง 2 แบบ และระยะเวลาทั้งสิ้นของกระบวนการผลิตถ่าน

3. นำถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิตถ่านด้วยเตาเผาถ่านทั้ง 2 แบบ ส่งไปทดสอบคุณภาพถ่าน ที่อาคารคณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยทำการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) ของถ่านกะลามะพร้าว ที่ได้ทำการทดสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงภายในเตาเผา เมื่อเตาได้มีการเพิ่มฉนวนกันความร้อนพร้อมเปรียบเทียบอุณหภูมิเตาเผาถ่านแบบปรับปรุงรูปแบบและแบบที่เพิ่มฉนวนกันความร้อน ที่ได้ทำการทดสอบ

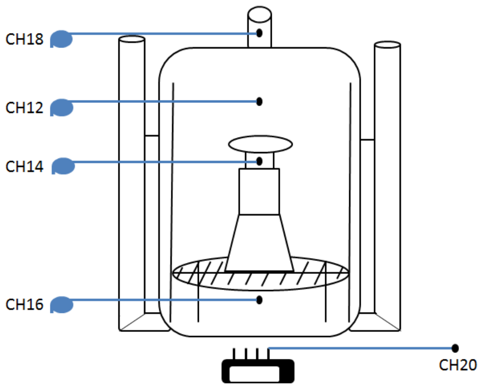
2. วิเคราะห์ระยะเวลาทั้งกระบวนการผลิตถ่านทั้ง 2 แบบ ที่ได้ทำการทดสอบ

3. วิเคราะห์คุณภาพถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากกระบวนการผลิตถ่านจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน

3.ผลการศึกษา

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทดสอบคุณสมบัติของวัตถุดิบและทดลองทำการปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่านจากกะลามะพร้าว ด้วยเตาขนาด 200 ลิตร โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตถ่านจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แนวตั้ง แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน โดยทำการทดสอบฉนวน 3 ชนิด ได้แก่ ดิน ทราย และแกลบดำ ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงภายในเตาเผาถ่านตำแหน่งต่างๆ และวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตถ่าน แล้วนำตัวอย่างถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากกระบวนการผลิตไปทำการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีนเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพถ่านต่อไป

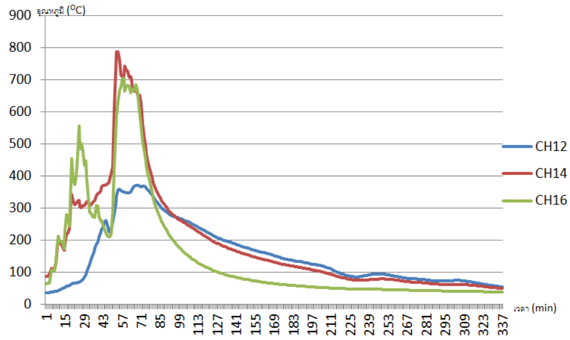
การเก็บข้อมูลอุณหภูมิเตาเผาถ่านจำเป็นต้องทำการเจาะรูตัวเตาในตำแหน่งที่ต้องการทดสอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลอุณหภูมิภายในเตาที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบวัดอุณหภูมิของเตาเผาถ่าน หมายเหตุ ; CH12 = อุณหภูมิด้านบนของเตา, CH14 = อุณหภูมิภายในเตา, CH16 = อุณหภูมิด้านล่างของเตา,

CH18 = อุณหภูมิปล่องควัน, CH20 = อุณหภูมิอากาศแวดล้อม

ในการทดสอบการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน จากผลการทดสอบสามารถอธิบายได้ว่า อุณหภูมิภายในเตาจะมีค่าสูงสุด เนื่องจากเตาประเภทนี้จะจุดไฟหน้าเตาบริเวณตรงกลางเตาความร้อนจะลอยขึ้น เป็นการกระจายอุณหภูมิระหว่างตรงกลางภายในเตาเผา ทำให้บริเวณตรงกลางเตาจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิตำแหน่งอื่นๆ ภายในเตาเผาถ่าน ดังกราฟที่แสดงด้านล่างนี้



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน

จากกราฟสามารถอธิบายได้ว่า การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน โดยใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่าน จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิภายในเตา 787.2 °C อุณหภูมิด้านล่างของเตา 704.9 °C อุณหภูมิด้านบนสุดของเตา 371.2 °C เวลาที่ใช้ในการปิดเตา 70 นาที และเวลาที่ใช้ทั้งสิ้นของกระบวนการผลิตถ่าน 267 นาที เตาจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และผลจากการทดสอบเพิ่มฉนวนกันความร้อน 3 ชนิด ได้แก่ ดิน ทราย และแกลบดำ พบว่า อุณหภูมิโดยรวมของเตาเผาจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเผาแบบไม่มีฉนวน โดยเตาที่ใช้ฉนวนดินจะมีอุณหภูมิภายในเตาสูงสุด 779.5 °C อุณหภูมิด้านบนของเตา 605.4 °C อุณหภูมิด้านล่างเตา 601.8 °C อุณหภูมิปล่องควันโดยเฉลี่ย 351.8 °C ที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 28.0 °C เวลาที่ใช้ในการปิดเตา 70 นาที และเวลาที่ใช้ทั้งสิ้นของกระบวนการผลิตถ่าน 769 นาที เตาจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

การทดสอบค่าความร้อนของถ่านกะลามะพร้าว โดยเปรียบเทียบถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน กับถ่านกะลามะพร้าวทั่วไปตามท้องตลาด พบว่า ถ่านกะลามะพร้าวที่เผาได้จากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน จะให้ค่าความร้อน 7,760 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และถ่านกะลามะพร้าวทั่วไปตามท้องตลาด มีค่าความร้อน 4,830 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม จะเห็นได้ว่าค่าความร้อนของกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน มีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านกะลามะพร้าวทั่วไปตามท้องตลาด และเมื่อนำมาทดสอบค่าความร้อนด้วยการต้มน้ำปริมาณ 500 มิลลิลิตร โดยใช้ถ่านอย่างล่ะ 500 กรัม พบว่าถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน จะใช้เวลา 6 นาที ทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 °C และถ่านกะลามะพร้าวทั่วไปตามท้องตลาด จะใช้เวลา 14 นาที ทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 °C จากนั้นทำการหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา พบว่า เตาเผาที่ใช้ถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน มีค่าประสิทธิภาพ 31.35% และเตาเผาถ่านแบบเดิมที่เผาถ่านกะลามะพร้าวทั่วไปตามท้องตลาด มีค่าประสิทธิภาพ 24.29%

ตารางที่ 1 ผลของถ่านกะลามะพร้าวลักษณะเมื่อติดไฟ

ชนิดของเตาเผาถ่าน ถ่านกะลามะพร้าว	**ควัน**	**การประทุ**	**ความร้อน**
เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่	ไม่มี	ไม่มี	ความร้อนสม่ำเสมอ
เตาเผาถ่านแบบเดิม	มี	เกิดการประทุ	ความร้อนไม่สม่ำเสมอ

จากการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) พบว่า ถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากเตาผลิตถ่าน

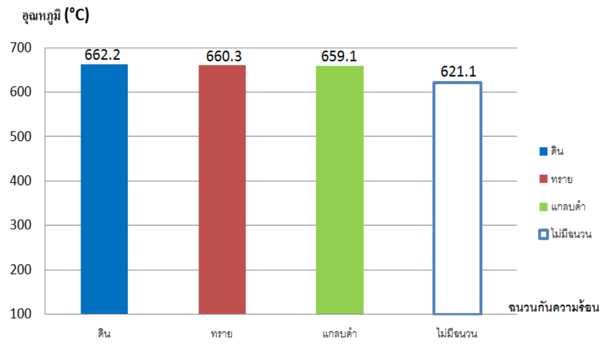
แบบเพิ่มฉนวนกันความร้อนจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 851.0143 mg/g และถ่านกะลาที่ได้จากเตาแบบไม่มีฉนวนกันความร้อนจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 771.0488 mg/g ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกะลามะพร้าว

ชนิดของฉนวนถ่านกะลามะพร้าว	การดูดซับไอโอดีน (mg/g)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ดิน	860.2830	6.5543
ทราย	846.2954	6.1083
แกลบดำ	846.4646	6.211
ไม่มีฉนวน	771.0488	9.6399

4. อภิปรายผลการศึกษา

การเก็บรวบรวมผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงภายในเตาเผา พบว่าเตาเผาถ่านที่ทำการเพิ่มฉนวนกันความร้อน มีผลต่ออุณหภูมิทำให้อุณหภูมิโดยรวมของเตาสูงขึ้น และเตาเผาถ่านที่ใช้ดินเป็นฉนวนกันความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดดังแผนภูมิที่แสดงด้านล่างนี้



รูปที่ 7 อุณหภูมิเฉลี่ยของเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงแบบใหม่และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน

เวลาที่ใช้ทั้งสิ้นของกระบวนการผลิตถ่าน พบว่าเตาเผาถ่านแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อนจะใช้ระยะเวลานานกว่าเตาเผาถ่านแบบไม่มีฉนวน เนื่องจากฉนวนกันความร้อนจะรักษาอุณหภูมิภายในเตาได้นานกว่าทำให้เตาจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมนานกว่าเตาเผาถ่านแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน

จากผลการทดสอบการดูดซับไอโอดีน (iodine number) พบว่าถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากเตาผลิตถ่านแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อนจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าถ่านที่ได้จากเตาที่ไม่มีฉนวน และจากการทดสอบถ่านที่ได้จากเตาผลิตถ่านที่ใช้ฉนวนดินจะมีค่าดูดซับไอโอดีนสูงสุด

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการเผาถ่าน พบว่า อุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผา 787.2 °C และอุณหภูมิของเตาโดยเฉลี่ย 621.1 °C เวลาที่ใช้ในการปิดเตา 70 นาที และเวลาที่ใช้ทั้งสิ้นของกระบวนการผลิตถ่าน 267 นาที หรือประมาณ 4 ชั่วโมง เตาจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เปรียบเทียบโดยการเพิ่มฉนวนพบว่าเตาเผาถ่านที่ใช้ดินเป็นฉนวนกันความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผา 779.5 °C และอุณหภูมิของเตาโดยเฉลี่ย 662.2 °C เวลาที่ใช้ในการปิดเตา 70 นาที และเวลาที่ใช้ทั้งสิ้นของกระบวนการผลิตถ่าน 769 นาที หรือประมาณ 13 ชั่วโมง และจากการทดสอบการดูดซับไอโอดีน (iodine number) ของตัวอย่างถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน พบว่าถ่านที่ได้จากเตาเผาถ่านที่เพิ่มฉนวนจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่าถ่านที่ได้จากเตาแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน และจากการทดสอบค่าความร้อนของถ่านกะลามะพร้าว โดยเปรียบเทียบถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน กับถ่านกะลามะพร้าวทั่วไปตามท้องตลาด เมื่อนำมาทดสอบค่าความร้อนด้วยการต้มน้ำปริมาณ 500 มิลลิลิตร โดยใช้ถ่านอย่างล่ะ 500 กรัม พบว่าถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน จะใช้เวลา 6 นาที ทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 °C และถ่านกะลามะพร้าวทั่วไปตามท้องตลาดจะใช้เวลา 14 นาที ทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 °C จากนั้นทำการหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา พบว่าเตาเผาที่ใช้ถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่านมีค่าประสิทธิภาพ 31.35% และเตาเผาถ่านแบบเดิมที่เผาถ่าน

กะลามะพร้าวทั่วไปตามท้องตลาด มีค่าประสิทธิภาพ 24.29% ค่าที่ได้นี้ยังไม่รวมค่าความร้อนที่สูญเสีย (Loss) ในการทดสอบ เนื่องจากการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบหาประสิทธิภาพของถ่านเมื่อนำไปใช้งานจริง ผลของถ่านกะลามะพร้าวลักษณะเมื่อติดไฟ ถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ จะไม่มีควันไฟ ไม่มีการประทุของประกายไฟ อีกทั้งยังให้ความร้อนสม่ำเสมอ และจากการทดสอบการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตรแบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตกับถ่านกะลาทั่วไปตามท้องตลาด จะเห็นได้ว่า ถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน เมื่อนำไปใช้งานจริง พบว่า จะมีประสิทธิภาพการใช้งานมากกว่าถ่านกะลาทั่วไปตามท้องตลาด และผลการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) พบว่าถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากเตาผลิตถ่านแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อนจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าถ่านที่ได้จากเตาที่ไม่มีฉนวน และจากการทดสอบถ่านที่ได้จากเตาผลิตถ่านที่ใช้ฉนวนดินจะมีค่าดูดซับไอโอดีนสูงสุด

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าถ่านกะลามะพร้าวที่ใช้ฉนวนกันความร้อนที่ได้จากเตาเผาถ่านแบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่านมีคุณภาพสูงกว่าถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากเตาผลิตถ่านที่ไม่มีฉนวนกันความร้อน เนื่องจากการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) เป็นค่าสำคัญที่ใช้บอกถึงประสิทธิภาพของถ่าน เพราะว่าไอโอดีนถูกถ่านดูดซับได้ดี ดังนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนจึงถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของถ่าน โดยวัดเป็นมิลลิกรัม (ของไอโอดีน) ต่อน้ำหนักถ่าน 1 กรัม (บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2558)

6. ข้อเสนอแนะ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านควรมีการตากแดดก่อนนำมาเผาถ่าน เนื่องจากวัตถุดิบมีความชื้นมากจะส่งผลต่อปริมาณเชื้อเพลิงหน้าเตา และทำให้เวลาในกระบวนการผลิตถ่านจะใช้เวลานานกว่าวัตถุดิบชีวมวลที่มีความชื้นน้อยกว่า กะลามะพร้าวความชื้นตามมาตรฐาน (มผช.) ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ถ่านที่ได้มีคุณภาพสูงสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อย่างอื่นได้ อาทิเช่น สบู่อาบน้ำถ่าน ถ่านดูดกลิ่น เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.พิสิษฎ์ มณีโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำชี้แนะ และขอขอบคุณ ดร. สหัถยา ทองสาร ดร.รัศมี สิทธิขันแก้ว กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ ประวิทย์ นิลวิเชียร ผู้ออกแบบเตาเผาถ่าน รุ่นซุปเปอร์ 84 และขอบคุณอาจารย์และผู้ที่ให้ความเชื่อเหลือ ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมไปถึงวิทยาลัยพลังงานทดแทน ที่เอื้อเฟื้อพื้นที่ติดตั้งเตาเผาถ่านและอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

8. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน **“รายงานสถิติพลังงานของ ประเทศไทย 2556”** (ปี 2556 หน้า 14-19). [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.eppo.go.th

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน **“แผนพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551-2565)”** [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.eppo.go.th/download/files/AEDP2015/

[3] สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน (สวค.) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน **“คู่มือสารชีวมวลเอเชีย”** (หน้า 84-93). [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/All_T

[4] ศูนย์วิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น **“การผลิตแก๊สชีวมวลจากใบอ้อย”** (หน้า 3-4). [ออนไลน์] ได้จาก: http://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/

[5] สัมฤทธิ์ โม้พวง. (2558). **คาร์บอนกัมมันต์.** กันยายน พ.ศ. 2558. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร. (หน้า 12-14)

[6] พิสิษฎ์ มณีโชติ และคณะ (2558). **การพัฒนาเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้ง ด้วยเทคนิคแก๊ส**

ซิฟิเคชั่น. การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 (TREC-8) 4-6 พฤศจิกายน 2558. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประวัติผู้วิจัย

นายลุตฟี สือนิ

Mr. Lutfee Seni

E-mail: lutfee_052@hotmail.com

Telephone: (+66) 81-2766211

สถานที่ติดต่อ:

บ้านเลขที่ 158 หมู่ 8 ตำบลกะดุนง อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี รหัสไปรษณีย์ 94110

ประวัติการศึกษา:

- ปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
- ปริญญาโท สาขาพลังงานทดแทน วิทยาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

หัวข้องานวิจัย:

- การพัฒนากังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำ (วิจัยเฉพาะทาง)
- การปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่านด้วยเตาขนาด 200 ลิตร (กำลังดำเนินงานวิจัย)

ทุนวิจัยที่ได้รับ:

- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ผลงานตีพิมพ์:

ลุตฟี สือนิ มูฮำหมัดนูร ยูนิ อิสมาแอล เจ๊ะเต๊ะ รอมซี มาหะ และอีลีหย๊ะ สนิโซ (2555). เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วอย่างง่าย : นวัตกรรมสำหรับชนบท. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2555). 30-36.

การผลิตไบโอดีเซลแบบไม่แยกกลีเซอรีนจากน้ำมันพืชเหลือทิ้ง

The Production of Non-separate Glycerin Biodiesel from Waste Oil

จารุกิตติ์ พิบูลนฤดม[1,*], เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์[2], ภาคิณ มณีโชติ[3],
เทพ เกื้อทวีกุล[4], อัษฎางค์ บุญศรี[5],วรวุฒิ บุตรดี[6] และนิวดี คลังสีดา[7]

Jarukit Piboolnaruedom[1,*], Saowalak Yodwinyuwong[2], Pakin Maneechot[3]
Thep Kueathaweekun[4], Ussadang Boonsri[5], Worawut Butdee[6] and Nivadee Klungseda[7]

[1]มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เลขที่ 69 หมู่ที่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร 62000
[2]มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เลขที่ 69 หมู่ที่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร 62000
[3]มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เลขที่ 69 หมู่ที่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร 62000
[4]มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เลขที่ 69 หมู่ที่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร 62000
[5]มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เลขที่ 69 หมู่ที่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร 62000
[6]มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เลขที่ 69 หมู่ที่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร 62000
[7]มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เลขที่ 69 หมู่ที่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร 62000
[1]Kamphaengphet RajabhatUniversity 69 Moo1 Tanbon Nakormchum Amphur Muang Kamphaengphet 62000
[2]Kamphaengphet Rajabhat University 69 Moo1 Tanbon Nakormchum Amphur Muang Kamphaengphet 62000
[3]Kamphaengphet Rajabhat University 69 Moo1 Tanbon Nakormchum Amphur Muang Kamphaengphet 62000
[4]Kamphaengphet Rajabhat University 69 Moo1 Tanbon Nakormchum Amphur Muang Kamphaengphet 62000
[5]Kamphaengphet Rajabhat University 69 Moo1 Tanbon Nakormchum Amphur Muang Kamphaengphet 62000
[6]Kamphaengphet Rajabhat University 69 Moo1 Tanbon Nakormchum Amphur Muang Kamphaengphet 62000
[7]Kamphaengphet Rajabhat University 69 Moo1 Tanbon Nakormchum Amphur Muang Kamphaengphet 62000
* E-mail: j.piboolnaruedom@yahoo.com, Tel. 087-8493325 Fax. 055-706599

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตไบโอดีเซลแบบไม่แยกกลีเซอรีนจากน้ำมันพืชเหลือทิ้ง โดยทำการผลิตจากการนำน้ำมันพืชเหลือทิ้งมาต้มและตากแดด จากนั้นนำไปผสมน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 100/10, 100/20, 100/30 ตามลำดับ แล้วนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันเบื้องต้น 1.ตรวจสอบด้วยสายตา 2.ไฮโดรมิเตอร์ 3.กระดาษลิสมัส โดยได้ค่าที่มีความใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซล คือ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/10 ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.885 และความเป็นกรด – เบส มีค่า 6.2 น้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/20 ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.890 และความเป็นกรด – เบส มีค่า 6.2 น้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/30 ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.880 และความเป็นกรด – เบส มีค่าเท่ากับ 6.2 และนำไปทดสอบใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตรเพื่อการสูบน้ำ เป็นเครื่องยนต์ดีเซล คูโบต้า RT 110 ใช้น้ำมันไบโอดีเซลและดีเซลในปริมาณที่เท่ากันคือ 100 มิลลิลิตร เพื่อหาประสิทธิภาพและจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีที่สุด จากการทดสอบพบว่า คือ ไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/10 มีเวลาเฉลี่ยของการเดินเครื่องยนต์ได้ 3.36 นาที และสามารถลดต้นทุนได้ 5.99 บาทต่อลิตร ไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/20 มีเวลาเฉลี่ยของการเดินเครื่องยนต์ได้ 3.33 นาที และสามารถลดต้นทุนได้ 6.00 บาทต่อลิตร ไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/30 มีเวลาเฉลี่ยของการเดินเครื่องยนต์ได้ 3.23 นาที และสามารถลดต้นทุนได้ 5.50 บาทต่อลิตร ดังนั้น เวลาเฉลี่ยของการเดินเครื่องได้นานที่สุดคือ 3.36 นาที เป็นไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/10 โดยจุดคุ้มทุนที่ดีที่สุด คือ ที่ 318.33 ลิตร

Abstract

The purposes of research aim to production of non-separate Glycerin Biodiesel from waste oil. The production of waste oil was boiled and dried. Next step It was blended the gasoline and diesel oil in the ratio of 100/10, 100/20, 100/30 respectively, then biodiesel to ensure the primarily quality by 1) visual inspection 2) hydrometer and 3) litmus paper test. The best of similar Biodiesel formula is blended ratio 100/10, 0.885 of specific gravity and pH 6.2. Biodiesel mixture ratio 100/20 has 0.890 of specific gravity and pH 6.2 and biodiesel mixture ratio 100/30 has 0.880 of specific gravity and pH 6.2. The run test with Kubota RT 110 (agricultural pump engine) by biodiesel and diesel in equal amounts is 100 ml for performance and breakeven economics. The result of this research is biodiesel ratio 100/10. The best average time is 3.36 minutes and the engine is able to reduce costs by 5.99 baht per liter. Biodiesel Ratio of 100/20 has average time of run test was 3.33 minutes and refund 6.00 baht per liter. Biodiesel Ratio of 100/30 has average time was 3.23 minutes and refund 5.50 baht per liter. The average time of a machine is as long as possible. 3.36 minutes of biodiesel ratio 100/10. The best of breakeven point at 318.33 liter

คำหลัก: ไบโอดีเซล / น้ำมันพืชเหลือทิ้ง / เครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบไม่แยกกลีเซอรีน

Keywords: Biodiesel / Used Vegetable Oil / Non-separate Glycerin Biodiesel Machine

1. บทนำ

การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ มีการใช้ตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เนื่องจากน้ำมันปิโตรเลียมยังมีราคาถูก และหาได้ง่าย ทำให้ไม่มีผู้ใดให้ความสนใจใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซล หลังจากวิกฤตน้ำมันของโลกในปี พ.ศ. 2514 เป็นต้นมา ได้เริ่มมีการตื่นตัว และพยายามหาพลังงานทดแทนมาใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น น้ำมันพืชจึงจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลอีกครั้ง

ปัจจุบันราคาน้ำมันได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง น้ำมันดีเซลหมุนเร็วเป็นน้ำมันที่ถูกใช้มากในการขนส่งสินค้า โดยราคาหน้าโรงกลั่นที่สิงค์โปร์อยู่ในระดับ 60-67 ดอลลาร์สหรัฐต่อบาร์เรล หรือ ราคาขายปลีกที่ประมาณ 24-26 บาทต่อลิตร การใช้น้ำมันไบโอดีเซลมาทดแทนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ประเทศสามารถประหยัดเงินตรา การนำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปได้รวมทั้งการสร้างอาชีพและรายได้ให้กับผู้เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกษตรกร พ่อค้า ร้านค้าปลีก และประชาชน อีกทั้งการนำน้ำมันใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซลยังมีส่วนช่วยลดมลพิษจากการทิ้งน้ำมันในทางอ้อม

ร้านค้าที่ใช้น้ำมันพืชในการทอดอาหารเพื่อจำหน่ายในแต่ละวันมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งน้ำมันที่ใช้แล้วส่วนใหญ่ผู้ประกอบการจะทิ้งไป ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากการสำรวจพบว่า ร้านค้าที่ใช้น้ำมันทอดสินค้า เฉลี่ยร้านละ 34 ลิตรต่อวัน ปัจจุบันร้านค้าจะนำน้ำพืชมันที่ใช้แล้วไปขายในราคา 13 – 16 บาทต่อลิตร ซึ่งพ่อค้าที่มารับซื้อน้ำมันจะนำไปฟอกสีเพื่อมาขายใหม่ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

คณะผู้วิจัยตระหนักถึงการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์จากการใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว จึงมีแนวคิดในการผลิตไบโอดีเซลแบบไม่แยกกลีเซอรีนจากน้ำมันพืชเหลือทิ้ง ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล เพื่อนำมาทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล และช่วยลดปัญหาการเกิดมะเร็งจากการนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาทอดซ้ำและช่วยตัดวงจรการนำน้ำมันมาฟอกสีขายใหม่ อีกทั้งส่งเสริมใช้พลังงานทดแทนส่งผลให้ประเทศลดต้นทุนการนำเข้าทรัพยากรจากต่างประเทศอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อผลิตไบโอดีเซลแบบไม่แยกกลีเซอรีนจากน้ำมันพืชเหลือทิ้ง
2. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำน้ำมันพืชเหลือทิ้งมาผลิตไบโอดีเซล
3. เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งและเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถผลิตได้จากพืชและสัตว์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. น้ำมันพืชโดยตรง เริ่มใช้เมื่อประมาณ พ.ศ. 2443 โดยรูดอร์ฟ ดีเซล ได้คิดค้นเครื่องยนต์ดีเซลและใช้น้ำมันจากถั่วลิสง ซึ่งปัจจุบันมีการใช้น้ำมันจากสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงโดยนิยมใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตรที่มีความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ

2. น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล โดยใส่สารตัวเติมลงไปเพื่อให้น้ำมันทั้ง 2 ชนิดเข้ากันได้อย่างไรก็ตามถ้าใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ผสมลงไปในน้ำมันดีเซลจะผสมได้ไม่เกินร้อยละ 5

3. น้ำมันพืชที่นำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการลดขนาดโมเลกุลของน้ำมันพืชลงเพื่อเปลี่ยนน้ำมันพืชเป็นไบโอดีเซล

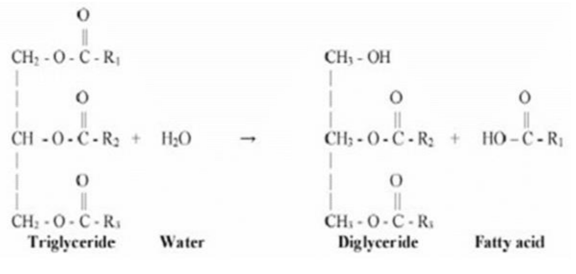
การนำน้ำมันพืชมาทำเป็นพลังงานไบโอดีเซลพบว่าคุณสมบัติของไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก เช่นความหนาแน่น (density) ดัชนีซีเทน (cetane index) ค่าความจุความร้อนในการกลายเป็นไอและค่าอากาศต่อน้ำมัน ข้อดีของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล คือสามารถหาทดแทนได้และมีค่าพลังงานคิดเป็น 88% ของน้ำมันดีเซล D2 (high-speed diesel) มีกำมะถันและสารอะโรมาติกส์น้อยทำให้เกิดเขม่าออกมาน้อย สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและการใช้งานระยะสั้นไม่มีปัญหา อย่างไรก็ตามการเติมน้ำมันพืชโดยตรงหรือนำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลอาจก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาวในเครื่องยนต์ เช่น ปั๊มเสื่อมสภาพการเกิดตะกอน และเขม่าบริเวณหัวฉีดของเครื่องยนต์การเดินเครื่องที่ไม่ต่อเนื่องการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และปัญหาของน้ำมันหล่อลื่นและในเครื่องยนต์ปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้เนื่องมาจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล D2 ประมาณ 10-20 เท่ารวมทั้งมีค่าการกลายเป็นไอต่ำ และมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากมีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว การใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์นั้นต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ก่อน เนื่องจากการใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงนั้นไม่เหมาะสม การแก้ปัญหาความหนืดของน้ำมันพืช

วัตถุดิบในการเตรียมไบโอดีเซลโดยทั่วไปแล้วน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ทุกชนิดเป็นสารประกอบตระกูลไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) โครงสร้างประกอบด้วยหมู่ของกรดไขมัน 3 หมู่ ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 22 ตัว ความยาวของสายโซ่และชนิดของพันธะ เช่น พันธะเดี่ยวหรือพันธะคู่ ในกรดไขมันที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของไตรกลีเซอไรด์แตกต่างกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าสมบัติของน้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์แตกต่างกันเนื่องจากมีกรดไขมันต่างชนิดกันเป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันอยู่ระหว่าง 12-18 อะตอม และน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนสูง ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชคือดัชนีที่ชี้บอกถึงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นๆหรือหมายถึงจำนวนพันธะคู่ระหว่างสายโซ่คาร์บอน เมื่อมีจำนวนพันธะคู่มากน้ำมันพืชนั้นจะไม่เสถียร เมื่อสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด์ที่อุณหภูมิสูง หลังจากเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแล้วน้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียว โดยทั่วไปเมื่อน้ำมันมีค่าไอโอดีนสูงจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ง่าย ฉะนั้นการเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิงจะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในเครื่องยนต์ได้ในเบื้องต้นแต่สมบัติของน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวมากจะทำให้น้ำมันแสดงผลเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องได้ดีกว่า เช่น ไขมันสัตว์มีร้อยละกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าในน้ำมันพืช ไขมันสัตว์จึงมีลักษณะเฉพาะ เช่น เป็นของแข็งหรือไขที่อุณหภูมิห้อง มีจุดหลอมเหลวสูงและมีค่าความหนืดสูงด้วยสมบัติของไบโอดีเซลขึ้นกับชนิดแอลกอฮอล์และกรดไขมัน เช่น ตัวเลขซีเทน (cetane number) ที่สัมพันธ์กับการเผาไหม้และไอเสีย จุดหลอมตัว (melting point) เสถียรภาพของการเกิดออกซิเดชั่น (oxidative stability) และการหล่อลื่น (lubricity) เป็นต้น โดยทั่วไปค่าความหนืดของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเมื่อสายโซ่ของกรดไขมันยาวขึ้นและความหนืดลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในกรดไขมันเพิ่มขึ้นและแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่

ยาวขึ้นให้สมบัติของน้ำมันในภาพรวมที่ดีกว่าแอลกอฮอล์สายสั้นแต่แอลกอฮอล์สายยาวก็ให้ต้นทุนที่สูงและผลิตเป็นเอสเทอร์ได้ยากกว่า การเพิ่มสมบัติของเชื้อเพลิงอาจเกิดจากการผสมไบโอดีเซลที่ประกอบด้วยชนิดของแอลกอฮอล์และกรดไขมันที่แตกต่างกัน

น้ำมันจากไขสัตว์ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลมีปัญหาในการผลิตเนื่องจากความหนืดสูง ร้อยละผลผลิตต่ำ และเกิดเป็นเจลได้ง่าย อีกทั้งสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้มีจุดขุ่นมัว (cloud point) สูง แต่การใช้น้ำมันจากสัตว์เป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจด้านต้นทุนการผลิต เนื่องจากน้ำมันจากสัตว์มีราคาต่ำกว่า ในสหรัฐอเมริการะหว่าง ค.ศ. 2000 ถึง 2003 ไขมันจากวัวมีปริมาณเฉลี่ยสูงถึง 0.82 ล้านตันต่อปี และ 1.6 ล้านตันต่อปี สำหรับไขที่รับประทานได้และรับประทานไม่ได้ (edible and inedible tallow) ตามลำดับ ไขมันที่รับประทานไม่ได้จึงเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ น้ำมันพืชเหลือทิ้งหรือน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน เป็นน้ำมันผสมที่มีทั้งน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์รวมทั้งตะกอนของแข็ง กรดไขมันอิสระและน้ำเป็นองค์ประกอบหลักน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานมักมีร่อยละกรดไขมันในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ จำนวนรอบที่ใช้และชนิดของอาหารที่ปรุงกรดไขมันที่แตกตัวจากโครงสร้างของ

ไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้การผลิตไบโอดีเซลมีความผันแปร กรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ผ่านการใช้งานเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสทำให้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอยู่ 3 หมู่แตกตัวออกมาเป็นกรดไขมัน ซึ่งมีสมการทางเคมีสำหรับเกิดปฏิกิริยา ดังรูปที่ 1 วัตถุดิบที่สำคัญอีกอย่าง คือ แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ได้แก่ เมทานอลหรือเอทานอลโดยที่เมทานอลมักจะนิยมใช้มากกว่าเนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็ก ทำให้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมันพืชได้ง่ายกว่า



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ

การผลิตไบโอดีเซลสามารถแบ่งออกเป็น 6 วิธีได้แก่

การใช้โดยตรงและการผสม เป็นการนำน้ำมันพืช เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม นำมาใช้ได้เลยโดยไม่ต้องนำไปผสมกับสารเคมีอื่นๆ โดยไม่ต้องนำมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันนั้นๆ ส่วนแบบผสม คือการนำน้ำมันพืชที่ได้ไปผสมรวมกับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล หรือน้ำมันชนิดอื่นๆ ก่อนที่จะนำมาใช้งานจริง เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ดังนั้นการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงจะก่อให้เกิดปัญหาแก่เครื่องยนต์ เพราะว่าน้ำมันพืชมีความหนืดสูงและมีการระเหยที่ต่ำ อีกทั้งในระหว่างการเผาไหม้จะเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันได้อย่างเหนียว ซึ่งจะไปเกาะติดอยู่ตามเครื่องยนต์ทำให้เครื่องยนต์เสียหายได้

ไมโครอิมัลชันเป็นการใช้ตัวทำละลายแก้ปัญหาค่าความหนืดของน้ำมันพืชทำให้มีค่าความหนืดลดลง ซึ่งตัวทำละลายนั้นได้แก่ เมทานอล เอทานอล และบิวทานอล โดยไมโครอิมัลชันที่เกิดจากเมทานอลกับน้ำมันพืชจะให้น้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่น้ำมันที่ผลิตโดยวิธีนี้มีข้อเสียคือ เมื่อมีการนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่า ได้เกิดการสะสมตัวของคราบรอบหัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์

กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนหรือความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเปลี่ยนจากสารประกอบชนิดหนึ่งไปเป็นสารประกอบชนิดอื่น แต่ว่าจะต้องมีการกำจัดปริมาณอากาศที่ใช้ในขบวนการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยสารประกอบที่ผ่านขบวนการไพโรไลซิสนั้นจะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งขบวนการดังกล่าวยากแก่การควบคุม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ เนื่องจากความหลากหลายของปฏิกิริยา โดยวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในขบวนการไพโรไลซิส ได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กดไขมันธรรมชาติ และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสภาวะเหนือ

วิกฤต วิธีการนี้เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำได้โดยนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยาร่วมกับเมทานอลในสภาวะเหนือวิกฤติ ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้ คือ ไม่เกิดของเสียจากกระบวนการ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าวิธีอื่น แต่จะใช้อุณหภูมิและความดันค่อนข้างสูงเพื่อทำให้เมทานอลอยู่ในภาวะเหนือวิกฤต

ปฏิกิริยาทางเอสเทอริฟิเคชันเป็นกระบวนการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็น เอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น และกระบวนการนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด และยังเกิดปัญหาต่อเครื่องยนต์น้อยที่สุด แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในการทำปฏิกิริยาได้แก่ เมทานอล เอทานอลโพรทานอล และบิวทานอล โดยส่วนมากจะใช้เมทานอลในการทำปฏิกิริยาเพราะว่าเมทานอลมีราคาถูก เป็นโมเลกุลมีขั้วขนาดเล็ก ทำให้เมทานอลละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดี และทำปฏิกิริยากับไตกรีเซอรีนได้อย่างรวดเร็ว และเอสเธอร์ที่ได้จึงเรียกตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าใช้เมทานอลก็จะได้ fatty acid methylesters และ methyl esters กระบวนการ 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเป็นการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนกรดไขมันเป็นสารเอสเทอร์ก่อนในกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน จากนั้นใช้ขั้นตอนที่ 2 เป็นการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทางเอสเทอริฟิเคชัน แต่ถ้าหากว่าวัตถุดิบมีค่าความเป็นกรดสูงมากๆจะต้องใช้เวลาในขั้นตอนแรกมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย

4. อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 วัสดุ

- น้ำมันพืชเหลือทิ้ง- น้ำมันเบนซิน- น้ำมันดีเซล

1.2 อุปกรณ์

- เครื่องผลิตไบโอดีเซล ทำหน้าที่กรองกลีเซอรีนออกจากน้ำมันใช้แล้วก่อนนำมาผลิตไบโอดีเซล
- ขวดใส่น้ำมัน ใช้บรรจุน้ำมันไบโอดีเซล
- กระดาษลิสมัส ใช้วัดค่าความเป็นกรด – เบสของน้ำมันไบโอดีเซล
- บีกเกอร์ 2 ลิตร ใช้ผสมระหว่างน้ำมันพืชเหลือทิ้งกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน
- บีกเกอร์ 1 ลิตร ใช้ในการตวงน้ำมันพืชเหลือทิ้ง
- กรวย ใช้กรอกน้ำมันไบโอดีเซลใส่ขวดบรรจุน้ำมัน
- กระบอกตวง ใช้ในการตวงน้ำมันดีเซล
- แท่งกวนสาร ใช้กวนน้ำมันตอนผสมให้เข้ากัน
- ไฮดรอมิเตอร์ ใช้วัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซล
- ผ้าขาวบาง ใช้กรองน้ำมันเหลือทิ้ง

2. วิธีการทำการทดลอง

2.1 กรองน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับผ้าขาวบางเพื่อนำสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

2.2 นำน้ำมันที่กรองได้มาต้มเพื่อไล่ความชื้นและตากแดดเพื่อให้น้ำมันตกตะกอนจะได้น้ำมันที่มีความหนืดน้อยและสีเหลืองสะอาด

2.3 นำน้ำมันที่ได้มาดูดผ่านกรองตัวที่ 1 จะได้น้ำมันที่สะอาดมากขึ้น

2.4 ผสมน้ำมันเบนซิน อัตราส่วน 100/6 และน้ำมันดีเซลอัตราส่วน 100/10, 100/20, 100/30 ตามลำดับ และคนให้เข้ากัน

2.5 นำน้ำมันที่ได้มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อการสูบน้ำ โดยใช้น้ำมันในปริมาณที่เท่ากัน คือ 100 มิลลิลิตรและอัตราเร่งคงที่ (500 rpm)

5. ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ค่า pH ของไบโอดีเซล การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล แสดงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1 ค่า pH ของไบโอดีเซล

ชนิดของน้ำมันไบโอดีเซล	pH
อัตราส่วน 100/10	6.2
อัตราส่วน 100/20	6.2

อัตราส่วน 100/30	6.2
ค่าเฉลี่ย	6.2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล

เวลา / ชนิดของน้ำมัน	ค่าเฉลี่ย (m.)
ดีเซลหมุนเร็ว	3.26
ไบโอดีเซล 100/10	3.36
ไบโอดีเซล 100/20	3.33
ไบโอดีเซล 100/30	3.23

ตารางที่ 3 แสดงราคาของวัสดุที่ใช้สร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล

Equipment	Price (baht)
Oil Filter	760
Pump	250
Motor	350
Steel	100
Rubber band	50
Labor cost	300
total	1910

จากการเก็บข้อมูลการทดสอบนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมในอัตราส่วนต่างๆไปเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลนั้น พบว่าในอัตราส่วน 100/30 น้ำมันไบโอดีเซลดีเซลมีการทำงานของเครื่องยนต์สูบน้ำมีเวลาน้อยกว่าน้ำมันดีเซล แต่ในอัตราส่วน 100/20 กับ 100/10 น้ำมันไบโอดีเซลมีการทำงานของเครื่องยนต์สูบน้ำมีเวลามากกว่าน้ำมันดีเซล ตามลำดับ

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคาแบบ Straight – line Method ดังสมการต่อไปนี้

$$DP = \frac{P - S}{L}$$

โดยที่ P คือ ค่าซื้อเครื่องจักร (บาท)

S คือ ราคาขายหรือคงเหลือเมื่อเครื่องจักรหมดอายุ (บาท)

L คือ อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)

ราคาเครื่องผลิตไบโอดีเซลเท่ากับ 1,910 บาท มูลค่าซากของเครื่องผลิตไบโอดีเซลเมื่อสิ้นปีที่ 5 เหลือ 25% ของราคาเครื่อง ดังนั้น ราคาซากเครื่อง = (5/25) x 1910 = 382 บาท ค่าเสื่อมราคา = (1910 - 382) / 5 = 306 บาท/ปี

1.ไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/10

รวมปริมาณที่ใช้ 15 + 1.5 + 0.9 = 17.4 ลิตร

รวมราคาที่ใช้ 250 + 29.30 + 37 = 316.3 บาท

ไบโอดีเซล 1 ลิตร จะมีราคา 316.3 / 17.4 = 18.17บาท

สามารถลดต้นทุนได้ 24.69 – 18.17 = 5.99 บาทต่อลิตร

จะสามารถคืนทุนในลิตรที่ 1910 / 5.99 = 318.86

*หมายเหตุ ราคาน้ำมันของวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2559

2. ไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/2

รวมปริมาณที่ใช้ 15 + 3.0 + 0.9 = 18.9ลิตร

รวมราคาที่ใช้ 250 + 29.30 + 74.07= 353.37บาท

ไบโอดีเซล 1 ลิตร จะมีราคา 353.37 / 18.9= 18.69บาท

สามารถลดต้นทุนได้ 24.69 – 18.69= 6.00 บาทต่อลิตร

จะสามารถคืนทุนในลิตรที่ 1910 / 6.00 = 318.33

*หมายเหตุ ราคาน้ำมันของวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2559

3. ไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/30

รวมปริมาณที่ใช้ 15 + 4.5 + 0.9 = 20.4 ลิตร

รวมราคาที่ใช้ 250 + 29.30 + 112.32 = 391.62 บาท

ไบโอดีเซล 1 ลิตร จะมีราคา 353.37 / 20.4 = 19.19บาท

สามารถลดต้นทุนได้24.69 – 19.19 = 5.50บาทต่อลิตร

จะสามารถคืนทุนในลิตรที่ 1910 / 5.50 = 347.27

*หมายเหตุ ราคาน้ำมันของวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2559

6. วิจารณ์

จากการวิจัยที่ได้ทดลองน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันใช้แล้วจากตลาดมอกล้วยไข่ กำแพงเพชร ซึ่งได้นำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล คูโบต้า RT110 น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นสามารถใช้ติดเครื่องยนต์ดีเซลได้จริง และจากการหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จะเห็นได้ว่า

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมีความคุ้มค่าจริงสามารถเพิ่มรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการได้จริง

7. สรุปผลการวิจัย

1. จากการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแล้วนำไปทดสอบคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลเบื้องต้น มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและสามารถใช้งานได้จริงกับเครื่องยนต์ดีเซล

2. การทดสอบนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรเพื่อการสูบน้ำนั้น น้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/30 มีการติดของเครื่องยนต์ได้นาน 3.21 นาที ซึ่งติดได้นานน้อยกว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/20 มีการติดของเครื่องยนต์ได้นาน 3.34 นาที และ 100/10 มีการติดของเครื่องยนต์ได้นาน 3.36 นาที ตามลำดับ

3. จากการทดสอบใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ทางการเกษตรเพื่อการสูบน้ำ การติดของเครื่องยนต์คงที่ อัตราเร่งไม่ตก เมื่อลดอัตราส่วนในการผสมลงการติดของเครื่องยนต์กับอัตราเร่งก็ยังคงที่

4. การวิเคราะห์ทางด้านความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลกับต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลเห็นได้ชัดเจนว่าน้ำมันไบโอดีเซลมีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์จากอัตราส่วนที่ผสม 100/20 มีความคุ้มทุนมากที่สุด เพราะว่าสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุด คือ คืนทุนให้เราได้ในลิตรที่ 318.33 และยังจะสร้างรายได้เพิ่มให้แก่ผู้ประกอบการอีกด้วย

8. ปัญหาและอุปสรรค

หาเครื่องยนต์ดีเซลที่จะนำมาทำการทดสอบได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลยังไม่เป็นที่ยอมรับของชาวบ้านมากนัก

9. ข้อเสนอแนะ

ควรจัดหากลุ่มชาวบ้านที่สนใจในเรื่องการผลิตไบโอดีเซล ให้ได้มาเรียนรู้เรื่องการผลิตไบโอดีเซลเพื่อนำไปใช้เองได้

10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายสันติพงศ์ เนื้อนวล ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องผลิตไบโอดีเซลและให้คำปรึกษาวิธีการใช้เครื่องผลิตไบโอดีเซล ตลอดระยะเวลาทำการวิจัย ขอขอบคุณโรงเรียนเทศบาลเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ให้ยืมเครื่องผลิตไบโอดีเซลเพื่อมาทำการวิจัยครั้งนี้ จึงทำให้วิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณหลักสูตรสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ศูนย์พลังงาน ของมหาวิทยาลัยตลอดระยะเวลาทำการวิจัย

11. เอกสารอ้างอิง

ชาคริต ทองอุไร. (2544). การผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน. ***วารสารสงขลานครินทร์****. 23*(1).

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). (2552). ***การผลิตการตรวจสอบมาตรฐานไบโอดีเซลเบื้องต้น***. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ

สโรชา เพ็งศรี และ สมใจ เพ็งปรีชา. (2552). ***การกำจัดกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้วโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย***.

อนุชา พรมวังขวา และ ชัยชาญ ฤทธิเกริกไกร. (2550). ไขประตูสู่ความรู้เรื่องไบโอดีเซล (1). ***วารสารโลกพลังงาน***, 10, หน้า 49-56.

อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล. (2548). ***การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านกระบวนการใช้แล้ว***. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อ้อยใจ ทองเฌอ และคนอื่นๆ. (2537). ***ไบโอดีเซลและการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้น***. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ปทุมธานี : กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Jaturong. (2006). Transesterification of Crude

Palm Kernel Oil and Crude Coconut Oil by Different Solid Catalysts. ***Chemical Engineering Journal***, 116(1), 61-66.

Rashid, U. & Anwar, F. (2008). Production of Biodiesel through optimized alkaline catalyzed transesterification of rapeseed oil. ***Fuel,*** 87, 265-273.

Wyatt, V.T., Hess, M.A., Dunn, R.O., Foglia, T.A., Haas, M.J. &Narmer, W.N. (2005). Fuel Properties and Nitrogen Oxide Emission Levels of Biodiesel Produced from Animal Fats. ***Journal of the American Oil Chemist's Society***, 82, 585-591.

การประเมินทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแข็งจากใบอ้อย

Technique and EconomicsAssessment of Biomass Pellets from Sugar Cane Leaves

ศิริรัตน์ สุลา[1]และ ฉันทนา พันธุ์เหล็ก[2]*

Sirirat Sula[1] and Chantana Punlek[2]*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก 65000

Physics Buildings Faculty of Science Naresuan University Phitsanulok 65000

*uuosirirat@gmail.com, 055 963553, 055 963552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่ผลิตจากใบอ้อยร่วมกับกากตะกอนน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการกลั่นน้ำมัน ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง โดยนำใบอ้อยมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm และความยาว 30 mm ที่แรงอัด 125 250 375 และ 500 MPa ด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ในอัตราส่วน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ระหว่างใบอ้อยกับกากตะกอนน้ำมันดิบ คือ 95:5 90:10 85:15 80:20 และ 75:25 ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยร่วมกับแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนและแรงอัดเดียวกัน จากการทดลองพบว่า เชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยร่วมกับกากตะกอนน้ำมันดิบอัตราส่วน 90:10 ที่แรงอัด 375 MPa คือ เชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีค่าความหนาแน่น 755 kg/m^3 ค่าความร้อนเท่ากับ 4,752 kcal/kg และมีค่าความชื้นร้อยละ 9.74 โดยสามารถขายได้สูงสุดที่ราคา 4,125 baht/ton เมื่อพิจารณาที่ถ่านหินลิกไนต์ราคา $60/ton

Abstract

This research studiesthe possibility of wood pellets from sugarcane leaves mixed with crude oil sludge,thatis a residue from crude oil refining process. In this project, researchers configured experimentswith sugarcane leaves densified into wood pellets of diameter 10 mm and length 30 mm under a pressure of 125-500 MPa in a hydraulic press. In our experiment, we testedsugarcane to crude oil ratio of (percent by weight) 95:5 90:10 85:15 80:20 and 75:25 respectively and compared to wood pellets from sugarcane leaves mixed with tapioca flour at the same percentages and pressure.The most suitability pellets were made from sugarcane leaves compounded with crude oil sludge at 90:10 percentages and at a pressure of 375 MPa. The pellets properties are quite good. That have a density of 755 kg/m^3 and a gross calorific value of about 4,752 kcal/kg and a moisture content of about 9.7%. The pellets can be sell at a max price of 4,125 baht/ton compare with lignite cost $60/ton.

คำสำคัญ:เชื้อเพลิงอัดแข็ง ใบอ้อย กากตะกอนน้ำมันดิบ ตัวประสาน

Keywords: Wood pellet Sugarcane Leaves Crude Oil Sludge Binder

1. บทนำ

จากการคาดการณ์แนวโน้มในปี 2558 - 2573 ของประเทศไทย พบว่าความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7% ต่อปี [1] ทำให้มีแนวทางในการพัฒนาพลังงานของประเทศ โดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีการใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศไทย เมื่อคิดในส่วนของปริมาณใบและยอดอ้อยมีประมาณ 17 ล้านตัน [2] แต่ถูกนำไปใช้ประโยชน์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้ยังมีใบอ้อยเหลืออยู่เป็นปริมาณมาก โดยในปัจจุบันเชื้อเพลิงอัดแข็งถือว่ากำลังเป็นที่นิยมในตลาดโลกด้านชีวมวล เหมาะสำหรับประเทศไทยที่มีศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งได้ประมาณ 19 ล้านตันต่อปี [3]

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการนำใบอ้อยมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็ง เป็นทางเลือกใหม่ในการเลือกใช้เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนและเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน ที่ทำให้เกิดการสะสมของ CO_2 ในบรรยากาศ นำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาการนำใบอ้อยมาใช้เป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแข็งร่วมกับตัวประสาน โดยทำการศึกษา 4 ส่วนหลักๆ คือ

1. ศึกษาแรงอัดที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยแบบไม่มีตัวประสาน

2. ศึกษาอัตราส่วนและแรงอัดที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยร่วมกับกากตะกอนน้ำมันดิบและแป้งมันสำปะหลัง

3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยร่วมกับกากตะกอนน้ำมันดิบและแป้งมันสำปะหลัง

4. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแข็ง ที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยร่วมกับกากตะกอนน้ำมันดิบและแป้งมันสำปะหลัง

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 เชื้อเพลิงเขียว[4]

เชื้อเพลิงเขียว คือ แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดแท่งด้วยวิธีอัดเย็น (โดยไม่ใช้ความร้อน) จากวัสดุชีวมวล เศษวัชพืชต่าง ๆ หรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคอุตสาหกรรมการเกษตร มาอัดแท่งโดยอาศัยความเหนียวของยางในวัสดุเหล่านั้นเป็นตัวเชื่อมประสานและมีความชื้นพอเหมาะ เมื่ออัดออกมาเป็นแท่งแล้วจะได้แท่งเชื้อเพลิง มีลักษณะและคุณสมบัติเหมือนฟืนและสามารถใช้ประโยชน์แทนฟืนถ่าน หรือแก๊สหุงต้มได้เป็นอย่างดี

3.1.1 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง[5]

กระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วยการให้แรงดันแก่มวลของอนุภาค โดยอาจมีตัวประสานหรือไม่มีตัวประสานก็ได้ แบ่งตามแรงดันออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

- การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันสูงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลวและของแข็งเรียกว่าแรงแอดฮีชัน (adhesion forces) และการเกิดพันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (interlocking bond) ระหว่างวัสดุ
- การอัดแท่งแบบใช้แรงดันปานกลางโดยอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของวัสดุความร้อนทำให้วัสดุที่มีสารพวกลิกนิน และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อ่อนตัวยึดเกาะกันดี
- การอัดแท่งที่ใช้แรงดันต่ำโดยอาศัยตัวประสาน (binders) ช่วยในการอัดตัวของวัสดุ สำหรับกลไกการอัดแท่งแบบใช้ตัวประสาน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน โดยตัวประสานที่ดีจะต้องมียางเหนียวที่ทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุได้ดีเช่นทาร์ และสารอินทรีย์ที่มียางเหนียวเป็นองค์ประกอบ

3.1.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง [6]

การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลจะใช้องค์ประกอบหลักๆ ที่สำคัญของเชื้อเพลิงในการประเมินคุณภาพได้แก่

1. ปริมาณความชื้น (Moisture Content)
2. ความหนาแน่น (Density)
3. ปริมาณเถ้า (Ash content)
4. ค่าความร้อน(Heating value)

3.2 กากตะกอนน้ำมันดิบ [7]

เมื่อกระบวนการกลั่นน้ำมันสิ้นสุดลงจะก่อให้เกิดของเสียจากการกลั่นน้ำมัน ตะกอนน้ำมันดิบ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกตัวถังพักน้ำมันดิบ ทำให้น้ำมันดิบเกิดการควบแน่นจับตัวและตกตะกอน ซึ่งตะกอนน้ำมันนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ได้

3.2.1 สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของกากตะกอนน้ำมันดิบ

ตะกอนน้ำมันดิบจึงนับได้ว่าเป็นตัวประสานที่มีประสิทธิภาพเพราะสามารถหลอมละลายได้ดียึดเกาะกับวัสดุอื่นได้ง่ายและแข็งตัวได้รวดเร็วแต่ไม่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรงเพราะคุณสมบัติของตะกอนน้ำมันดิบที่ไม่ติดไฟดังตารางที่1

ตารางที่1 สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนน้ำมันดิบ

สมบัติทางกายภาพ	ตะกอนน้ำมันดิบ
ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	23.9
ลักษณะทั่วไป	แวกซ์อ่อนตัว
สี	ดำ
กลิ่น	เหม็นฉุน
การติดไฟ	ไม่ติดไฟ
ค่าความร้อน (kcal/kg)	8,946.45
ปริมาณเถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.02

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พัชฎาภรณ์ เจริญรอย และอรชุมา นุสีวอ [8] ได้ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำแท่งเชื้อเพลิงจากฟางข้าวและแกลบ โดยใช้ผักตบชวาเป็นตัวเชื่อมประสานในการศึกษาได้นำวัสดุเหลือใช้มาอัดให้เป็นแท่งด้วยวิธีการอัดแบบเปียกโดยใช้เครื่องอัดไฮโดรลิกและแม่แรงอย่างง่าย พบว่า อัตราส่วนฟางข้าว ผักตบชวา และแกลบ ผักตบชวาในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนักทำให้แท่งเชื้อเพลิงอยู่ตัวไม่แตกเปราะสามารถยึดเกาะได้ดีและให้ค่าความร้อน 3,956 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และ 2,358 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

พุทธิพร แสงรุ่งเรืองและคณะ [9] ได้นำเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตร จังหวัดนนทบุรี นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ตัวประสานโดยใช้แป้งมันสำปะหลัง มาอัดด้วยเครื่องอัดแบบเกลียวไม่ใช่ความร้อนและแรงอัดต่ำในอัตราส่วนต่าง ๆ (โดยน้ำหนัก) พบว่า เชื้อเพลิงที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดคือขี้เลื่อยผสมกับแป้งมัน อัตราส่วน 2:1 โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 4,762.48 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งเชื้อเพลิงที่ได้สามารถลุกติดไฟได้ดี มีควันน้อย และให้ความร้อนได้เร็ว

Owen et al. [10] ได้ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทาง โดยบดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ เติมน้ำแล้วนำมาอัดเป็นแท่งโดยแท่งเชื้อเพลิงจะมีลักษณะคล้ายโดนัท นำไปตากแห้งสามารถนำไปใช้แทนฟืนและถ่านไม้ได้ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้สามารถจุดติดไฟได้ง่ายโดยใช้เวลาเพียง 2 นาที และให้อุณหภูมิสูงสุดถึง 816 องศาเซลเซียส

Husain. Z., et al. [11] ได้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกะลาปาล์มที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นน้ำมันปาล์มโดยอัดแท่งที่ความดันระหว่าง 5 - 13.5 MPaด้วยระบบไฮโดรลิก (hydraulic press) ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 50 และ 60 มิลลิเมตร พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,100 และ 1,200 kg/m^2 มีค่าความร้อน 3,917 cal/g ปริมาณเถ้า 6% และค่าความชื้น 12%

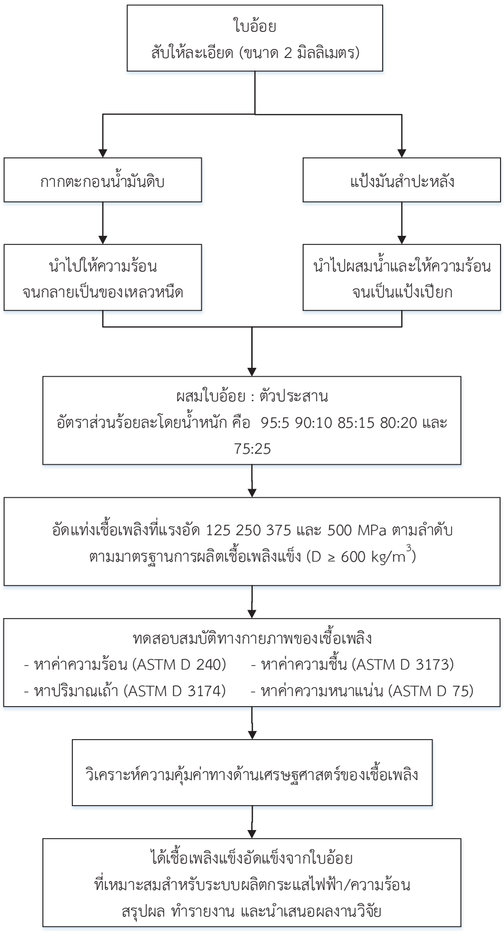
4. วิธีการวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งจากใบอ้อย สามารถแบ่งตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ออกแบบชุดผลิตและทำการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยแบบไม่มีตัวประสาน และมีตัวประสาน

2. วิเคราะห์หาสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแข็ง หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของใบอ้อยร่วมกับตัวประสาน และหาแรงอัดที่เหมาะสมของแต่ละอัตราส่วน

3. วิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแข็ง ที่ผลิตจากใบอ้อยและใบอ้อยร่วมกับตัวประสานทั้งสองชนิด ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งจากใบอ้อยแบบไม่มีตัวประสานและแบบมีตัวประสาน ทำการศึกษาที่อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของใบอ้อยต่อแป้งมันสำปะหลัง และใบอ้อยต่อกากตะกอนน้ำมันดิบที่อัตราส่วน 95:5 90:1085:1580:20 และ 75:25 ตามลำดับ

4.2 แรงอัดที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิง

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งจากใบอ้อยร่วมกับกากตะกอนน้ำมันดิบและแป้งมันสำปะหลัง ทำการศึกษาการอัดขึ้นรูปของเชื้อเพลิงให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m^3 ตามมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแข็ง โดยแบ่งแรงอัดออกเป็น 4 แรงอัด คือ 125250375 และ 500 MPaตามลำดับ

ตารางที่2 สัญลักษณ์แรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแข็งจากใบอ้อย

วัตถุดิบ	ตัวประสาน	อัตราส่วน	แรงอัด (MPa)	สัญลักษณ์
ใบอ้อย (Sugarcane Leaves)	-	100:0	125	SF_1
			250	SF_2
			375	SF_3
			500	SF_4
	แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca Flour)	95:5	125	ST_5F_1
			250	ST_5F_2
			375	ST_5F_3
			500	ST_5F_4
		90:10	125	$ST_{10}F_1$
			250	$ST_{10}F_2$
			375	$ST_{10}F_3$
			500	$ST_{10}F_4$
		85:15	125	$ST_{15}F_1$
			250	$ST_{15}F_2$
			375	$ST_{15}F_3$
			500	$ST_{15}F_4$
		80:20	125	$ST_{20}F_1$
			250	$ST_{20}F_2$
			375	$ST_{20}F_3$
			500	$ST_{20}F_4$
		75:25	125	$ST_{25}F_1$
			250	$ST_{25}F_2$
			375	$ST_{25}F_3$
			500	$ST_{25}F_4$
	กากตะกอนน้ำมันดิบ (Crude Oil Sludge)	95:5	125	SC_5F_1
			250	SC_5F_2
			375	SC_5F_3
			500	SC_5F_4
		90:10	125	$SC_{10}F_1$
			250	$SC_{10}F_2$
			375	$SC_{10}F_3$
			500	$SC_{10}F_4$
		85:15	125	$SC_{15}F_1$
			250	$SC_{15}F_2$
			375	$SC_{15}F_3$
			500	$SC_{15}F_4$
		80:20	125	$SC_{20}F_1$
			250	$SC_{20}F_2$
			375	$SC_{20}F_3$
			500	$SC_{20}F_4$
		75:25	125	$SC_{25}F_1$
			250	$SC_{25}F_2$
			375	$SC_{25}F_3$
			500	$SC_{25}F_4$

4.3 รูปแบบเชื้อเพลิง

รูปแบบเชื้อเพลิงเป็นไปตามมาตรฐานของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแข็ง โดยที่ต้องมีความหนาแน่นรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 600 kg/m^3 เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 6 - 12 mm และความยาว 10-30mm จึงได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm และความยาว 30 mm

4.4 การอัดแท่งเชื้อเพลิง

นำเชื้อเพลิงที่ผ่านการผสมตามอัตราส่วนที่ต้องการไปอัดแท่งขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิง โดยกำหนดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ด้วยเครื่อง Pellet press ที่แรงอัด 125 250 375 และ 500 MPa

4.5 การวิเคราะห์สมบัติด้านกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิง

4.5.1 การหาปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3173 [12] โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 104-110 °C ที่เวลา 24 hrs. เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

$$M = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ M = ค่าความชื้น (%)
A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (g)
B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (g)

4.5.2 การหาปริมาณเถ้า

การวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3174 [13] โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 1 hrs. สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาแล้ว

$$N = \frac{(C-D)}{E} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ N = ปริมาณเถ้า (%)
C = น้ำหนักภาชนะพร้อมเถ้า (g)
D = น้ำหนักของภาชนะ (g)
E = น้ำหนักตัวอย่างทดลองที่ใช้ (g)

4.5.3 การหาค่าความร้อนสูง

ทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงตามมาตรฐาน ASTM D 240 [14] ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยตรงทำได้โดยการนำตัวอย่างเชื้อเพลิงไปทดสอบหาค่าความร้อนจากเครื่อง Bomb Calorimeter จะอ่านค่าความร้อนผ่านสายไฟทั้งสองโดยมีหน่วยเป็นcal/g

$$Hg = \frac{tW-e_1-e_2-e_3}{m} \qquad (3)$$

เมื่อ Hg = ค่าความร้อน (cal/g)
m = มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดลอง (g)
W = ค่าพลังงานของลูกบอมบ์ที่ได้จากการทำการ standardization โดยมีค่าคงที่คือ 2,426 cal/ °C
e_1 = ค่าความร้อนจากกรดไนตริก โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0
e_2 = ค่าความร้อนจากกรดซัลฟูริกโดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0
e_3 = ค่าความร้อนจากฟิวส์ โดยนำฟิวส์เริ่มต้น (10 ซม.) หักลบจากฟิวส์ที่เหลือมาคูณด้วย 2.3 (1 ซม. มีค่าเท่ากับ 2.3 cal)

4.5.4 การทดสอบหาความหนาแน่น

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM D 75 [15] โดยนำเชื้อเพลิงไปชั่งน้ำหนักและวัดความสูงของเชื้อเพลิง คำนวณจากสูตรหาปริมาตรทรงกระบอก แล้วจึงนำผลที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่นจากสูตร

$$D = \frac{M}{V} \qquad (4)$$

เมื่อ D = ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)
M = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (g)
V = ปริมาตรของตัวอย่าง (m^3)

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อย

พบว่า แรงอัดที่มีความเหมาะสมสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยแบบไม่มีตัวประสาน คือ ที่แรงอัด 250, 375 และ 500 MPa สำหรับเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยร่วมกับแป้งมันสำปะหลังได้ คือ อัตราส่วน 95:5 ที่แรงอัด 375 และ 500

MPa และสำหรับเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยร่วมกับกากตะกอนน้ำมันดิบ คือ อัตราส่วน 95:5 และ 90:10 ที่ทุกแรงอัด

5.1.1ผลจากแรงอัดต่อสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อย

ค่าความชื้นและปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงจะแปรผกผันกับแรงอัดที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง เมื่อแรงอัดเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ซึ่งค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแปรผันตรงกับแรงอัด เนื่องจากใช้แรงอัดมากขึ้นจึงทำให้เชื้อเพลิงมีการเกาะตัวกันแน่นขึ้น

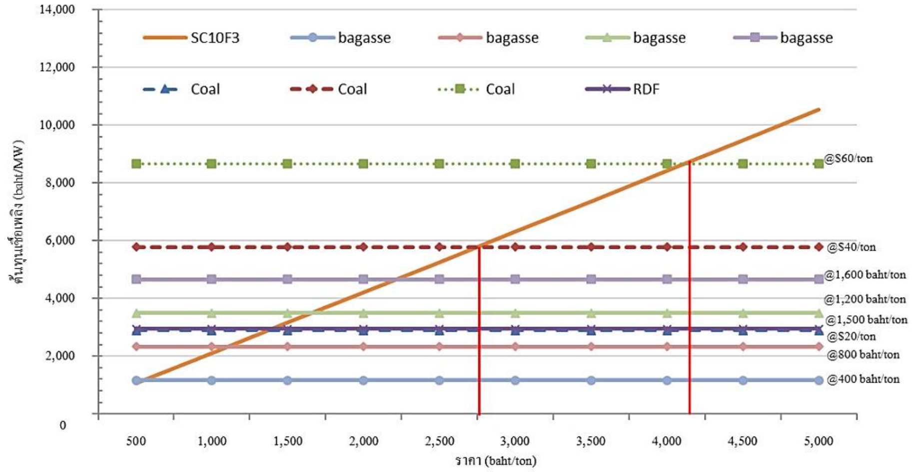
5.1.2 ผลจากอัตราส่วนผสมและแรงอัดต่อสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยร่วมกับแป้งมันสำปะหลังและกากตะกอนน้ำมันดิบ

ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณตัวประสาน แต่ที่แรงอัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงลดลงโดยความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแปรผกผันกับอัตราส่วนของตัวประสานซึ่งปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงจะมีปริมาณมากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของใบอ้อยและแรงอัดที่เพิ่มขึ้น และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะแปรผกผันกับปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น แต่แปรผันตรงกับปริมาณกากตะกอนน้ำมันดิบและแรงอัด คือ เมื่ออัตราส่วนของกากตะกอนน้ำมันดิบเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก็จะเพิ่มขึ้น

5.1.3 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

สำหรับหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดแข็ง$SC_{10}F_3$ ซึ่งข้อมูลโรงไฟฟ้าที่นำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์ได้แก่ บริษัท ทิพย์สุโขทัย ไบโอเอนเนอยี่ จำกัด จังหวัดสุโขทัย ซึ่งมีกำลังการผลิตและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ 36 MW โดยใช้ชานอ้อยเป็นชานอ้อย

จากข้อมูลเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าชีวมวลพบว่าโรงไฟฟ้านี้ใช้ชานอ้อย 1 ton สามารถผลิตไอน้ำได้ 2.3 tons และไอน้ำ 6.7 tons สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1 MW โดยผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของโรงไฟฟ้าชีวมวลระบบเดิมที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นชานอ้อย แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่2การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแข็งกับเชื้อเพลิงประเภทอื่น

จากรูปที่ 3การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทชานอ้อย, เชื้อเพลิงขยะ RDF และถ่านหินลิกไนต์ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยมีโดยสามารถขายได้สูงสุดที่ราคา 4,125 baht/ton เมื่อพิจารณาที่ถ่านหินลิกไนต์ราคา $60/ton หากราคาของเชื้อเพลิงมีค่ามากกว่า 4,125 baht/ ton ถือว่าเชื้อเพลิงไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เนื่องจากมีราคาสูงกว่าราคาของถ่านหินลิกไนต์จึงไม่เหมาะสำหรับการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็ง

ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า เชื้อเพลิงอัดแข็ง$SC_{10}F_3$ ซึ่งมีปริมาณการ

ใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ โดยมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 2.11 ton/MW สามารถขายได้สูงสุดที่ราคา 4,125 baht/ton เมื่อพิจารณาที่ถ่านหินลิกไนต์ราคา $60/ton

6. อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยแบบไม่มีตัวประสานและมีตัวประสานโดยทำการศึกษาที่แรงอัด 125 250 375 และ 500 MPaและอัตราส่วน 95:5 90:10 85:15 80:20 และ 75:25 ร้อยละโดยน้ำหนัก (ใบอ้อย : ตัวประสาน) ซึ่งในงานวิจัยได้ใช้ตัวประสาน 2 ชนิดคือแป้งมันสำปะหลังและกากตะกอนน้ำมันดิบนำเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยแบบไม่มีตัวประสานที่ผลิตได้มาวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ค่าความชื้นค่าความหนาแน่นค่าปริมาณเถ้าและค่าความร้อนตามมาตรฐานASTM และนำผลที่ได้มาเปรียบกับผลของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยร่วมกับตัวประสานจากนั้นนำมาวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิง

7. สรุป

เชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งจากใบอ้อยคือเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีส่วนประกอบของใบอ้อยร่วมกับกากตะกอนน้ำมันดิบอัตราส่วน 90:10 ที่แรงอัด 375 MPaเนื่องจากเชื้อเพลิงสามารถอัดแท่งขึ้นรูปเชื้อเพลิงได้ดีมีค่าความร้อนเท่ากับ 4,752 kcal/kg ค่าความชื้นร้อยละ 9.74 และมีค่าความหนาแน่น 755 kg/m^{3}และได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์มากที่สุดคือมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 2.11 ton/MW สามารถขายได้สูงสุดที่ราคา 4,125 baht/ton เมื่อพิจารณาที่ถ่านหินลิกไนต์ราคา$60/ton

- ข้อเสนอแนะ

1.ควรศึกษาวิธีการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแข็งให้มีประสิทธิภาพและเป็นไปตามมาตรฐานASTM

2. ควรศึกษาวิธีการเก็บเชื้อเพลิงให้อยู่ในสภาพที่ดีและคงคุณภาพพร้อมสำหรับการใช้งานรวมทั้งวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงภายหลังการเก็บตัวอย่าง

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ฉันทนาพันธุ์เหล็กอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.สมชายมณีวรรณ์ที่เสียสละเวลาอันมีค่ามาให้ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงานกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานงบประมาณ2558 แผนพลังงานทดแทนด้านพลังงานชีวมวลสนับสนุนทางด้านงบประมาณในการศึกษาวิจัย

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิชาวิศวกรรมศาสตร์คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และให้ความช่วยเหลือเอื้อเฟื้อเครื่องวัดค่าความร้อน (Bomb Calorimeter) ในการทำการทดลองและบริษัทปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียมสยามจำกัดจังหวัดกำแพงเพชรที่ให้ข้อมูลและตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันดิบเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

9.เอกสารอ้างอิง

[1]กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย (มกราคม-เมษายน)**[ออนไลน์] ได้จาก: http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/sit_58/jan_apr_58.pdf

[2] ดร.บุญทรัพย์พานิชการ. (2555). **แนวโน้มความต้องการใช้พลังงานในแต่ละประเทศ**. [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.freightmaxad.com/magazine/?p=4260

[3] Mckendry. (2002). **Energy production from**

biomass (part 1):overview of biomass. Biomass Technology

[4] ชุลีพร ไชยโยชน์. (2552). **การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเขียวแบบผสมผสานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและหญ้านวลน้อย**. วิทยานิพนธ์วท.ม.มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[5] Mishar and Grover. (1996). **Biomass briquetting. Technology and practices**. Food and Agricuculture Organization the United Nations Bangkok

[6] พิสิษฐ์มณีโชติและคณะ. **ศักยภาพของลำต้นข้าวโพดมาเป็นเชื้อเพลิงเขียว**. หน่วยวิจัยพลังงานชุมชน วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยนเรศวร.

[7] วีระพันอินทร์. (2553). **การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มีส่วนประกอบของขยะที่ผ่านกระบวนการบำบัดเชิงกลชีวภาพและกากตะกอนน้ำมันดิบ**. วิทยานิพนธ์วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[8]พัชฎาภรณ์เจริญรอยและอรชุมานุสีวอ. (2545). **การทำแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร**. บทคัดย่อปัญหาพิเศษสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[9] พุทธิพรแสงรุ่งเรือง และคณะ. (2549). **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้พื้นที่จังหวัดนนทบุรี**. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

[10] Owen McDougal, Richard Stanley and Seth C. Holstein. (2001). **A unique approach to conservation**. Chemical Innovation.

[11] Husain., Z., Zainac., Z. and Abdullah., Z. (2002). **Briquetting of palm fiber and shell from the Processing of palm nut to palm oil**. Biomass and Bioenergy.

[12] American Society of Testing and Materials. (1991). **ASTM D 3173: Standard Test Method of Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke**. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM.

[13] American Society of Testing and Materials. (1991). **ASTM D 3174: Standard Test Method of Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke**. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM.

[14] American Society of Testing and Materials. (1991). **ASTM D 240: Standard Test Method of Heat of combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter**. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM.

[15] American Society of Testing and Materials. (1991). **ASTM D 75: Standard Test Method of Density in the Analysis Sample of Coal and Coke**. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM.

การศึกษาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก

StudyingVariables to relationship on Decision Generated Biogas of Restaurant in Phitsanulok Municipality

ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1,2*] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,2] เฉลิมชัย สังโยคะ[1,2] ธีรภัทร์ พุ่มพลอย[1,2]
อรพรรณ ธนะขว้าง[1] ธีรรุจน์เมืองเหลือ[1] ประพิธารี ธนารักษ์[2] และพิสิษฎ์ มณีโชติ[2]

Sakchai Petsuwan 1,2* Nattawut Khaosaad 1,2 Chalamchai sangyoka1,2 Teerapat Phumploy1,2
Theerarut Muanglua1 Orrapun thanakwang1 Prapita Thanarak 3 Pisit Maneechot3

[1,*]คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก65000
โทร 0-5523-0597 โทรสาร 0-5523-0597 E-mail: nattawutkhao@gmail.com,sakchai@psru.ac.th
[2,*]สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง(โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก65000
0-5526-7000-2 โทรสาร 0-5526-7091 E-mail: sakchai@psru.ac.th,nattawutkhao@gmail.com
[3]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก65000
โทร 0-5596-3193 โทรสาร 0-5596-3182 E-mail: prapitat@nu.ac.th, pisitm@nu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก โดยสำรวจร้านอาหารในเขตจังหวัดพิษณุโลกมีทั้งหมดจำนวน 21 ร้าน กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างตามวิธีของเครจซี่และมอร์แกนได้กลุ่มตัวอย่างร้านอาหาร จำนวน 20 ร้าน ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearsonproduct-moment correlationcoefficient) พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ทางบวกต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีเพียง 1 ตัวแปรคือ ด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .526

Abstract

This paper presents the studying of variables relation to decision making of biogas generation of restaurant in Phitsanulok municipality. Twenty one restaurants in target area were population. Determining sample size 20 restaurants by apply Krejcie and Morgan. The questionnaires were a research tool to collect data. Pearson correlation coefficient was applied to analyse data. The results showed that positive variable relate to decision making of biogas generation of restaurant in Phitsanulok municipality at a .05 significance level was only one variable, the government subsidy which has correlation coefficient equal to .526

คำหลัก:ความสัมพันธ์ ก๊าซชีวภาพ ร้านอาหาร

1. บทนำ

การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในเชิงธุรกิจจากภาคอุตสาหกรรมเช่นอุตสาหกรรมแป้งมันน้ำมันปาล์มการแปรรูปสัตว์จนถึงฟาร์มสุกรและกำลังขยายไปสู่อุตสาหกรรมประเภทอื่นๆขณะที่ของเสียสร้างปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแต่ในเวลาเดียวกันสังคมยังต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นดังนั้นการใช้ของเสียให้เกิดประโยชน์ย่อมส่งให้เกิดผลดีทั้งสองด้านหน่วยงานภาครัฐจึงควรสนับสนุนและส่งเสริมให้เกิดการใช้งานก๊าซชีวภาพอย่างจริงจัง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงานดำเนินโครงการส่งเสริมสนับสนุนให้ครัวเรือน สถานประกอบการและชุมชนมีการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพโดยจัดทำแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็กสำหรับใช้ในครัวเรือน สถานประกอบการฟาร์มปศุสัตว์และชุมชนซึ่งผู้ที่สนใจสามารถนำไปใช้ในการจัดสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของครัวเรือนและการประกอบกิจการอย่างเป็นรูปธรรม [1] นอกจากนี้ยังมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551-2565) ของกระทรวงพลังงานกำหนดเป้าหมายเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนให้เป็นร้อยละ 20 ของการใช้พลังงาน [2] ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานในประเทศไทยมีความหลากหลายยิ่งขึ้นช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพลังงานของโลกรวมถึงประเทศไทยแนวโน้มในการพัฒนาเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส (Biogas) ในอนาคตพบว่าปัจจุบันปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพของไทยอยู่ที่ประมาณ 500,000,000 ลบ.ม. และสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 4,100,000 ตัน[3] เทศบาลนครพิษณุโลกได้ส่งเสริมรณรงค์เกี่ยวกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยเทศบาลนครพิษณุโลกยังได้รับรางวัลอาเซียนด้านสิ่งแวดล้อมเมืองที่ยั่งยืนประจำปี 2554 (ASEAN Environmentally Sustainable Cities ESC Awards) ประเภทการแข่งขันด้านขยะและพื้นที่สีเขียวClean and Green Land และรางวัลชนะเลิศโครงการการประกวดรณรงค์การใช้พลังงานจากกรมการปกครองร่วมกับสมาคมสันนิบาตเทศบาลแห่งประเทศไทย [4] การขยายตัวของเมืองทำให้มีบ้านเรือน ผู้คน และห้างร้านต่าง ๆ เพิ่มขึ้นทำให้มีของเสียมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งของเสียดังกล่าวสามารถนำมาทำเป็นพลังงานทดแทนได้ อีกทั้งพลังงานจังหวัดพิษณุโลก ได้มีการสนับสนุนให้มีการผลิตและใช้พลังงานทดแทน เพื่อเป็นการลดรายจ่าย ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกเพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก

3.แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความตระหนักในการใช้พลังงาน

ความตระหนักในการใช้พลังงาน หมายถึง การฉุกคิดได้ของบุคคล หรือการเกิดขึ้นในความรู้สึกที่เกิดขึ้นในสภาวะจิตใจ ที่ไม่เน้นความสามารถในการจำ หรือระลึกได้ เกี่ยวกับการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด รวมไปถึง ความตระหนักรู้ด้านพลังงาน (Energy Literacy) หมายถึงความเข้าใจในธรรมชาติและบทบาทของพลังงานในจักรวาลและชีวิตของเรานำไปสู่การใช้ความรู้ความเข้าใจเพื่อตอบคำถามและแก้ไขปัญหาด้านพลังงาน[4]

พลังงานทดแทน(Alternative Energy)

พลังงานทดแทนหมายถึงพลังงานที่ใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งจัดเป็นพลังงานหลักที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันพลังงานทดแทนที่สำคัญได้แก่พลังงานแสงอาทิตย์พลังงานน้ำพลังงานลมพลังงานความร้อนใต้พิภพและพลังงานจากชีวมวลเป็นต้นได้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์มากขึ้นซึ่งจะช่วยผ่อนคลายปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตและช่วยลดปัญหาด้านมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานในปัจจุบันแบ่งได้ 2 ประเภท (1)พลังงานทดแทนประเภทสิ้นเปลืองเป็นพลังงานทดแทนจากแหล่งที่ได้มาแล้วใช้หมดไปได้แก่พลังงานถ่านหิน ก๊าซธรรมชาตินิวเคลียร์หินน้ำมันทรายน้ำมันเป็นต้น (2)พลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนเป็นพลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีกได้แก่พลังงานจากแสงอาทิตย์ลมชีวมวลน้ำความร้อนใต้พิภพและไฮโดรเจน เป็นต้น [5]

ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียชนิดไม่อาศัยออกซิเจน (Anaerobic) ทำให้เกิดกลุ่มก๊าซขึ้นขณะเกิดการย่อยสลายกลุ่มก๊าซนี้เรียกว่าก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH4) ประมาณร้อยละ 60 – 70 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ประมาณร้อยละ 30 – 40 ทีเหลือจะเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H2S) และก๊าซไนโตรเจน (N2) ซึ่งก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟได้จึงสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงต่างๆเช่นการหุงต้มเชื้อเพลิงรถยนต์เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมเป็นต้น

การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุสามารถให้ก๊าซชีวภาพแต่จะเกิดก๊าซมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายเช่นพืชสดจะเกิดก๊าซยากกว่ามูลสัตว์เนื่องจากมูลสัตว์มีการย่อยสลายมาบ้างแล้วจากสัตว์ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้รวดเร็วขึ้น

ดังนั้นการนำพืชสดมาใช้กระบวนการหมักให้ได้ก๊าซชีวภาพจะต้องทำการสับให้มีขนาดเล็กและหมักทิ้งไว้ก่อนสำหรับวัสดุที่นำมาหมักนอกจากจะมีพืชสดและมูลสัตว์แล้วยังสามารถนำของเสียหรือน้ำเสียจากกระบวนการต่างๆมาใช้หมักได้ด้วยเช่นน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเศษอาหารตามบ้านเรือนเป็นต้น

ประโยชน์ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซใช้สำหรับการหุงต้มแทนเตาแก๊สใช้สำหรับเป็นแสงสว่างและให้ความร้อนใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดูดน้ำเครื่องยนต์รถยนต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์หรือให้ความอบอุ่นแก่ลูกสัตว์ตามฟาร์มต่างๆเช่นไก่สุกรเป็นต้นใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในภาคอุตสาหกรรมเช่นหม้อไอน้ำ ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงงานผลิตไฟฟ้า [6]

จากศึกษาแนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยสามารถสรุปถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหาร ได้แก่ ความพร้อมของผู้ประกอบการในการผลิตก๊าซชีวภาพการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ และความตระหนักในการใช้พลังงาน

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือร้านอาหารประเภทปิ้งย่างและต้มที่เป็นแบบบุฟเฟ่ต์และแบบชุดทั้งจำกัดเวลาและไม่จำกัดเวลาของร้านในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกตำบลในเมืองอำเภอเมืองพิษณุโลกจังหวัดพิษณุโลกมีจำนวนทั้งหมด 21ร้านทำการสำรวจข้อมูล ณ วันที่ 10 ธันวาคม 2558 (กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างตามวิธีของเครจซี่และมอร์แกน (Krejcie& Morgan))ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 ตัวอย่าง

4.2 สร้างและการพัฒนาเครื่องมือผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างและการพัฒนาเครื่องมือตามลำดับดังนี้

4.2.1 สร้างและการพัฒนาเครื่องมือ ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างและการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือแบบสอบถาม มีทั้งหมด 5ตอน ประกอบด้วย ตอนที่ 1 สอบถามข้อมูลทั่วไป ตอนที่ 2 ความพร้อมของผู้ประกอบการในการผลิตก๊าซชีวภาพตอนที่ 3 การสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐตอนที่ 4 ความตระหนักในการใช้พลังงานและตอนที่ 5 การตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพตอนที่ 2-5ลักษณะคำถามเป็นคำถามแบบประเมินค่า 5 ตัวเลือก

4.2.2 นำแบบสอบถามที่เสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมครอบคลุมเนื้อหาของการวิจัยและความเที่ยงตรง (Content validity) มีค่าIOCระหว่าง 0.5 – 1.0 ถือว่าแบบสอบถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย และหาค่าความเชื่อถือได้ของแบบสอบถาม (Reliability) โดยหาสัมประสิทธิ์แอลฟาตามวิธีของครอนบาค Cronbachมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ0.745

4.3 นำแบบสอบถามไปเก็บรวบรวมข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างโดยการสัมภาษณ์

4.4 ตรวจสอบข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ พร้อมเตรียมลงรหัสเพื่อเตรียมวิเคราะห์ข้อมูล

4.5 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้เกณฑ์การแปลความหมายค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 ระดับน้อยที่สุด 1.50-2.49 ระดับน้อย 2.50-3.49 ระดับปานกลาง 3.50-4.49 ระดับมาก 4.50-5.00 ระดับมากที่สุด และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Product Moment CorrelationCoefficient) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพกับความตระหนักในการใช้พลังงานและความพร้อมของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก

5. ผลการดำเนินการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับเกี่ยวกับตัวแปรที่มีความสัมพันธ์

ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก ได้แก่ ความพร้อมของผู้ประกอบการในการผลิตก๊าซชีวภาพการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและความตระหนักในการใช้พลังงาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก

ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพ	$\overline{X}$	S	ระดับ
ความพร้อมของผู้ประกอบการในการผลิตก๊าซชีวภาพ	3.92	.76	มาก
การสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ	3.94	.94	มาก
ความตระหนักในการใช้พลังงาน	3.37	.38	ปานกลาง

จากตารางที่ 1พบว่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับเกี่ยวกับความพร้อมของผู้ประกอบการในการผลิตก๊าซชีวภาพ มีความพร้อม (Var1)อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย($\overline{X}$)เท่ากับ 3.92ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)เท่ากับ.76ด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ (Var2)มีความต้องการที่จะให้หน่วยงานภาครัฐส่งเสริมและสนับสนุนอยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ย($\overline{X}$)เท่ากับ 3.94ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)เท่ากับ.94 และด้านความตระหนักในการใช้พลังงานผู้ประกอบการร้านอาหารมีความตระหนักอยู่ในระดับปานกลางมีค่าเฉลี่ย($\overline{X}$)เท่ากับ 3.37ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)เท่ากับ.38

5.2ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก

ตัวแปร	Var1	Var2	Var3	Y
Var1		.144	-.091	.315
Var2			.331	.526*
Var3				.408
Y				

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 2 พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ทางบวกต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพ(Y) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 คือ ด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ(Var2) ในการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ.526 สำหรับด้านความพร้อมของผู้ประกอบการในการผลิตก๊าซชีวภาพ(Var1) และด้านความตระหนักในการใช้พลังงาน(Var3) ไม่มีความสัมพันธ์กับต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตจังหวัดพิษณุโลก

6. สรุปผลการวิจัย

จากศึกษาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก พบว่าตัวแปรด้าน ความพร้อมของผู้ประกอบการในการผลิตก๊าซชีวภาพ มีความพร้อม(Var1)อยู่ในระดับมาก ด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ(Var2)มีความต้องการที่จะให้หน่วยงานภาครัฐส่งเสริมและสนับสนุนอยู่ในระดับมาก และด้านความตระหนักในการใช้พลังงานผู้ประกอบการร้านอาหารมีความตระหนักอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ทางบวกต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกมีเพียง 1 ตัวแปรคือ ด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ(Var2)มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .526

7. อภิปรายผล

จากการวิจัยนี้พบว่า ตัวแปรด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจผลิตก๊าซชีวภาพของร้านอาหารในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกซึ่งในประเทศไทยมีการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในเชิงธุรกิจในหลายอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมแป้งมัน น้ำมัน

ปาล์ม การแปรรูปสัตว์ จนถึงฟาร์มสุกร และกำลังขยายไปสู่อุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ อีกหลายประเภท ในขณะที่ของเสียสร้างปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และในเวลาเดียวกันสังคมต้องการพลังงานเป็นอย่างมาก ดังนั้นการใช้ของเสียให้เกิดประโยชน์ย่อมช่วยให้เกิดผลดีทั้งสองด้าน หน่วยงานภาครัฐจึงควรต้องสนับสนุนและส่งเสริมให้เกิดการใช้งานในเรื่องก๊าซชีวภาพอย่างจริงจัง เพื่อเป็นการส่งเสริม สนับสนุน ให้ครัวเรือน สถานประกอบการและชุมชนมีการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) จึงได้จัดทำแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพขนาดเล็กสำหรับใช้ในครัวเรือน สถานประกอบการ ฟาร์มปศุสัตว์ และชุมชนขึ้น ซึ่งผู้ที่สนใจสามารถนำไปใช้ในการจัดสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของครัวเรือนและการประกอบกิจการอย่างเป็นรูปธรรมดังนั้นการที่ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐจะทำให้แนวโน้มการเลือกใช้ก๊าซชีวภาพในเขตจังหวัดพิษณุโลกมีสูงขึ้น

พบว่าความตระหนักในการใช้พลังงานของผู้ประกอบการร้านอาหารมีความตระหนักอยู่ในระดับปานกลางแสดงให้เห็นถึงการขาดความรู้การฉุกคิดหรือระลึกได้เกี่ยวกับการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด รวมไปถึง ความตระหนักรู้ด้านพลังงาน (Energy Literacy) ที่เป็นความเข้าใจในธรรมชาติและบทบาทของพลังงานในจักรวาลและชีวิตของเรา นำไปสู่การใช้ความรู้ความเข้าใจ เพื่อตอบคำถามและแก้ไขปัญหาด้านพลังงาน จากผลการศึกษาดังกล่าวอาจจะต้องมีการจัดกิจกรรมสร้างความตระหนักเกี่ยวกับการใช้พลังงานให้กับผู้ประกอบการร้านค้า

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเกี่ยวกับไบโอก๊าซ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ช่วยเก็บรวบรวมข้อมูล และขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำและข้อมูลสนับสนุนในการศึกษานี้ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานงานกระทรวงพลังงาน.ไบโอแก๊สเซฟตี้ (Biogas Safety). (2558) เข้าถึงได้จาก :http://webkc.dede.go.th.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานงานกระทรวงพลังงาน.แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงาทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579. (2558) เข้าถึงได้จาก :http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf.

[3]กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน.ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ. (2558) เข้าถึงได้จาก : http://www2.dede.go.th.

[4] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.). (2556).ความตระหนักรู้ด้านพลังงาน (Energy Literacy). เข้าถึงได้จาก: http://www.ipst.ac.th/web/index.php/news-and-announcements/articles/

[5] บ้านจอมยุทธ.(2543).ความรู้ทั่วไปพลังงานทดแทน.เข้าถึงได้จาก : http://www.baanjomyut.com/library_3/extension-3/alternative_energy/index.html.

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน.(ม.ป.ป.).ก๊าซชีวภาพ.เข้าถึงได้จาก : http://www2.dede.go.th/km_ber/Attach/Biogas-present.pdf

กลุ่มที่ 4 การประหยัดพลังงาน

การประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม กรณีศึกษา

Application of Material Flow Cost Accounting (MFCA) Technique for Loss Reduction in Process of Manufacturing Drinking Water, A Case study

เจนจิรา เปี่ยมดี,ณัฏฐณิชา พลขันธ์

Jenjira Piamdee*, Nattanicha Pholkhan

หน่วยวิจัยพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ตำบลท่าขอนยาง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 โทร 0-4375-4322 ต่อ 1135 โทรสาร 0-4375-4379

*E-mail : energy_jane@yahoo.com

บทคัดย่อ

บัญชีต้นทุนการไหลของวัสดุ คือ เครื่องมือที่ใช้ประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในรูปของการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบในการผลิตสินค้าหรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลของวัสดุเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด ขนาด 600 มิลลิลิตร ผลจากการศึกษาถูกพบว่า ต้นทุนของน้ำดื่มบรรจุขวด มีต้นทุนรวมทั้งหมด 3.19 บาทต่อขวด ต้นทุนที่ก่อให้เกิดมูลค่า 2.76บาท คิดเป็นร้อยละ 86.49 ซึ่งคำนวณมาจากจากต้นทุนวัตถุดิบ 2.46 บาท ต้นทุนระบบ 0.14 บาท และต้นทุนพลังงาน 0.17 บาท ส่วนต้นทุนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า 0.43 บาท คิดเป็นร้อยละ 13.51 เกิดจากต้นทุนวัตถุดิบ 0.36 บาท ต้นทุนระบบการผลิต 0.03บาท และต้นทุนพลังงาน 0.04บาท ความสูญเสียเกิดจากต้นทุนวัสดุมากที่สุด จากการวิเคราะห์สาเหตุของความสูญเสียโดยใช้หลักการ ลดการใช้ นำกลับมาใช้ใหม่/ใช้ซ้ำ รีไซเคิล ซึ่งแนวทางในการลดต้นทุนความสูญเสียได้ประหยัดได้ทั้งหมดเท่ากับ 7,022.73บาท/ปี มีเงินลงทุนทั้งหมด 1,600 บาท ระยะเวลาในการคืนทุน 3 เดือน

Abstract

Material Flow Cost Accounting (MFCA) is a tool for estimating environmental consequences in waste reduction terms, originated from production and utilization of raw materials in manufacturing processes. The purpose of this study was to apply MFCA to reduce loss in the process of manufacturing drinking water. The result show that the production costs is 3.19 bath, it was composed of positive cost 2.76 bath or 86.49% (material cost 2.46 bath, system cost 0.14 bath, and energy cost 0.17 bath), and negative cost 0.43 bath that is 13.51% (material cost 0.36 bath, system cost 0.03 bath, and energy cost 0.04 bath). The most of loss is due to material cost. All of the loss cost evaluation were considered by the 3R principle, consist of Reduce, Reuse and Recycle. It could be found that guidelines to reduce cost total saved 7,022.73 bath/year of the cost with 1,600 bath to invest which payback period within 3 months.

คำหลัก: บัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ, น้ำดื่มบรรจุขวด, ลดต้นทุน

Keywords: Material Flow Cost Accounting (MFCA), drinking water, Cost Reduction

1. บทนำ

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตหรือการอนุรักษ์พลังงานนั้นจำเป็นต้องทราบข้อมูลพื้นฐานก่อนอาทิการใช้ทรัพยากรในการผลิตไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบพลังงาน ค่าแรงและอื่นๆซึ่งจะสะท้อนอยู่ในรูปของต้นทุนบัญชีต้นทุนคือบัญชีที่เกี่ยวกับการสะสมวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับของการผลิตทุกด้านซึ่งโดยทั่วไปมักในรูปของมูลค่าเงินต่อผลิตผลโดยจะประเมินได้จากค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตทั้งหมดต่อผลผลิตที่ช่วงเวลาเดียวกันการประเมินต้นทุนแบบทั่วไปดังกล่าวมีความ

ง่ายและสะดวกรวดเร็วแต่ไม่สามารถที่จะทราบถึงมูลค่าที่เกิดจากของเสียในการกระบวนการผลิตได้อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์บัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ (Material Flow Cost Accounting: MFCA) เป็นหนึ่งในเครื่องมือทางด้านการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่นิยมในต่างประเทศโดยช่วยในการจัดการใช้วัตถุดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการปล่อยของเสีย(Waste) [1] กล่าวคือMFCA ช่วยแสดงการส่งถ่ายและการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของวัตถุดิบที่ผ่านขั้นตอนหรือกระบวนการและบ่งชี้หรือกระตุ้นให้เห็นโอกาสในการปรับปรุงพัฒนาการใช้วัตถุดิบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและยังช่วยลดของเสียอันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตนั้นเองอย่างไรก็ตามโดยทั่วไปตามแหล่งชุมชนต่างๆ มักจะสร้างโรงงานผลิตน้ำดื่มในชุมชน ดังนั้น โรงงานน้ำดื่มชุมชนดังกล่าวควรมีการศึกษาถึงการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่า และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นการพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืนต่อไป

2.วัตถุประสงค์

เพื่อการประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดขนาด 600 มิลลิลิตรของโรงงานแห่งหนึ่งที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อหาแนวทางในการเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต

3. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์บัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ

การวิเคราะห์บัญชีต้นทุนการไหลวัสดุเป็นเครื่องมือที่ใช้ลดต้นทุนระบบการผลิตวัตถุดิบพลังงานและผลกระทบสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกันเริ่มต้นการพัฒนาในประเทศเยอรมันและได้รับการยอมรับมากประเทศญี่ปุ่น [1] จากผลสำเร็จที่ยอมรับโดยทั่วไปจึงถูกกำหนดเป็นมาตรฐานสากลเกี่ยวกับการบัญชีต้นทุนการไหลของวัสดุ (ISO-14051) โดยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยข้อกำหนดมาตรฐาน (The International Organization for Standardization: ISO) เผยแพร่และประกาศอย่างเป็นทางการในปี 2554 ISO-14051 เป็นเครื่องมือการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกและบ่งชี้ความสูญเสียในรูปของต้นทุนผลิตภัณฑ์ (Product Costs) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตระบบการจัดการหรือจากเทคโนโลยีการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพโดยต้นทุนของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยเป็นต้นทุนย่อย 4 ประเภทประกอบด้วย (1) ต้นทุนวัตถุดิบ(Material Cost : MC) คือต้นทุนวัสดุทุกประเภทที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ซึ่งมีทั้งวัสดุหลักวัสดุรองและวัสดุที่ต้องใช้ประกอบการผลิต (2) ต้นทุนระบบการผลิต (System Cost : SC) คือต้นทุนที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเช่นค่าแรงงานค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรค่าโสหุ้ยค่าบริหารจัดการ (3) ต้นทุนค่าไฟฟ้าและพลังงานในการผลิต (Energy Cost : EC) และ (4) ต้นทุนการจัดการของเสียที่ปล่อยจากกระบวนการผลิต (Waste Disposal and Shipping Cost) ซึ่งต้นทุนทั้งหมดจะถูกแยกส่วนให้กับผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดมูลค่าหรือมูลค่าบวก (Positive Product)และผลิตภัณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าหรือของเสียหรือมูลค่าลบ(Negative Product) ที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตโดยใช้หลักการสมดุลของมวลสาร (Mass balance) ซึ่งคิดสัดส่วนมูลค่าเป็นร้อยละของต้นทุนทั้งหมดเพื่อนำไปสู่การหาแนวทางในการลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่ามากที่สุดและชี้บ่งถึงขั้นตอนนั้นๆ [2]

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของNakajima (2004) ได้อธิบายว่าบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุเป็นส่วนหนึ่งของบัญชีต้นทุนแบบเดิมแต่ให้ข้อมูลมากกว่าคือให้ข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าในส่วนต่างๆโดยพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนผลิตภัณฑ์และปริมาณวัสดุ (Material Quantity) ในตลอดสายการผลิตและช่วยบ่งชี้ปัญหาความสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยเน้นแก้ไขด้วยการลดการสูญเสียที่แหล่งกำเนิดด้วยการปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตวัตถุดิบเครื่องจักรและเทคโนโลยีต่อมาในการศึกษาทำนองเดียวกันKokubu and Nakajima (2004) ได้อธิบายว่าการจัดทำบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุจะเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตจากการจำแนกของเสียจะช่วยลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตและลดการ

ปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมจึงเป็นการลดผลกระทบต่อการลดใช้ทรัพยากรในการผลิตไปพร้อมกันนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายในประเทศญี่ปุ่นดังงานวิจัยของNakajima (2009) และกรณีศึกษาความสำเร็จของEnvironmental Industries Office, Industrial Science and Technology Policy and Environment Bureau, Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan (2010) ได้แสดงตัวอย่างความสำเร็จในประเทศญี่ปุ่นเช่นบริษัทนิตโตะเดนโก้คอเปอร์เรชัน (Nitto Denko Corporation) ในปี2544 ได้ค้นพบว่าในต้นทุนระบบการผลิตทั้งหมดของบริษัทด้วยวิธีการทางบัญชีแบบเดิมร้อยละ100 มีต้นทุนความสูญเสียด้านวัสดุแฝงอยู่ถึงร้อยละ32.83 จึงได้กำหนดเป็นเป้าหมายในการลดต้นทุนความสูญเสียได้อย่างต่อเนื่องในลักษณะที่คล้ายคลึงกันบริษัทแคนนอนอินคอเปอร์เรท (Canon Inc.) ผู้ผลิตกล้องถ่ายรูปกล้องวีดีโอได้ประยุกต์ใช้บัญชีต้นทุนการไหลวัสดุในกระบวนการผลิตเลนส์จนสามารถค้นพบต้นทุนความสูญเสียจากการผลิตเลนส์ถึงร้อยละ32 ซึ่งต่างจากระบบบัญชีแบบเดิมที่รายงานของเสียเพียงแค่ร้อยละ1 นำไปสู่การปรับเปลี่ยนวิธีการตัดแต่งเลนส์ลดส่วนที่ต้องตัดแต่งให้น้อยลงส่งผลให้สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบหลักรวมถึงวัตถุดิบรองที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้ด้วยการประยุกต์ใช้MFAC ในประเทศไทยสรรฐติชัยชีวสุทธิศิลป์และคมศักดิ์ หารไชย (2557) ได้ใช้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตลำไยอบแห้งเพื่อลดความสูญเสียทรัพยากรและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในการผลิตลำไยอบแห้งผลจากการวิเคราะห์พบว่าต้นทุนที่ก่อให้เกิดมูลค่าคิดเป็น19.76% ส่วนต้นทุนที่ไม่ก่อให้เกิดคิดเป็น 80.24% จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเสียสรุปวิธีแก้ปัญหา3 แนวทางดังนี้1)ลดต้นทุนความสูญเสียจากต้นทุนแรงงานโดยใช้เครื่องคว้านเมล็ดลำไยอัตโนมัติแทนแรงงานคน2)ลดต้นทุนความสูญเสียด้านพลังงานด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพเตาอบลำไยอบแห้งและ3)การลดต้นทุนความสูญเสียด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมด้วยแนวทางแปรรูปเมล็ดลำไยให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณภาพและมูลค่าสูงขึ้นส่วนกมลชนกอิ้งสุวรรณและจันทิมาบุษบามินตรา (2553) ได้อธิบายโครงสร้างต้นทุนการผลิตน้ำดื่มตราDuOว่าต้นทุนของน้ำดื่มแต่ละขวดประกอบด้วยต้นทุนหลักๆได้แก่ต้นทุนค่าน้ำขวดฉลากแคปซีลบล็อกสีค่าแรงงานและค่าใช้จ่ายอื่นๆซึ่งคิดเป็นจำนวนราคาต้นทุนต่อปีแต่ยังไม่ได้บ่งชี้ถึงต้นทุนที่ก่อให้เกิดมูลค่าและต้นทุนที่ก่อให้เกิดมูลค่า

4.วิธีการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุเพื่อหาแนวทางลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มโดยจำแนกหาต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าและไม่มีมูลค่าการพัฒนาปรับปรุงระบบจะพิจารณาจากต้นทุนที่ไม่มีมูลค่าซึ่งอาจเกิดจากวิธีการทำงานที่ไม่เหมาะสมของระบบหรือเทคโนโลยีการผลิตโดยขั้นตอนการดำเนินการมีดังนี้

1. ศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มพร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องโดยการสัมภาษณ์ผู้รับผิดชอบในแต่ละแผนกเพื่อสืบค้นข้อมูลในอดีตและจัดเก็บข้อมูลจริงอาทิผลผลิตข้อมูลน้ำหนักของวัตถุดิบตั้งต้นและวัตถุดิบเสริมพลังงานตลอดจนจำนวนพนักงานและค่าจ้างแรงงานในทุกแผนก

2. สร้างแผนภาพการไหลวัสดุของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดของแต่ละกระบวนการเพื่อแสดงทิศทางการไหลของวัสดุที่เข้าและออกจากกระบวนการต่างๆ

3. ตรวจสอบการไหลวัสดุของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดโดยใช้หลักสมดุลมวลเข้าและออก (Mass Balance) เพื่อพิจารณาปริมาณวัสดุที่เข้า-ออกจากแต่ละกระบวนการผลิตเพื่อวัดปริมาณข้อมูลต่างๆ

4. คำนวณวัสดุที่ไหลผ่านในแต่ละกระบวนการผลิตในรูปของต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่เป็นตัวเงินโดยเริ่มจากต้นทุนวัสดุต้นทุนระบบการผลิตและต้นทุนพลังงานแล้วปันส่วนต้นทุนทั้งหมดให้กับต้นทุนที่มีมูลค่าและต้นทุนที่ไม่มีมูลค่าซึ่งสามารถแสดงได้โดยใช้แผนภาพการไหลของต้นทุนวัสดุจากนั้นนำผลการคำนวณที่ได้มาวิเคราะห์

เพื่อหาแนวทางการลดต้นทุนอันเกิดจากวัสดุที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า

5. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

5.1วิเคราะห์การไหลของวัสดุ

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดPET ขนาด600มิลลิลิตรถูกแบ่งการผลิตหลักๆออกเป็น7ขั้นตอน1)กรองน้ำ2) ล้างขวด3)บรรจุน้ำ 4)ปิดฝาขวด5)ใส่แคปซีล6)ห่อหุ้มแพ็คโหลและ7) อบแผ่นฟิล์มห่อหุ้มแพ็คโหลแสดงดังรูปที่1ซึ่งได้ข้อมูลเฉลี่ยจากการเก็บข้อมูล5ซ้ำโดยการปริมาณการผลิตจะขึ้นกับคำสั่งของลูกค้าการจัดการของเสียของโรงงานใช้ร่วมกับระบบหน่วยงานหลักจึงไม่มีค่าใช้จ่ายดังนั้นขอบเขตของงานวิจัยนี้ไม่คิดต้นทุนการจัดการของเสียที่ปล่อยจากกระบวนการผลิตขั้นตอนการผลิตมีรายละเอียดดังนี้

1. กระบวนการกรองน้ำวัตถุดิบนำเข้าคือน้ำประปา4,022.40 ลิตรโดยใช้ปั้มน้ำขับสารAnti-Scale 0.013 กิโลกรัมถูกผสมในเครื่องกรองน้ำRO สารAnti-Scale จะละลายเข้าไปในเครื่องกรองน้ำRO และจะมีน้ำที่ปล่อยทิ้งจากเครื่องกรองน้ำครึ่งหนึ่งของน้ำที่ใส่ในระบบและอีกครึ่งหนึ่งจะถูกป้อนเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

2. กระบวนการล้างขวดวัตถุดิบนำเข้าคือขวด PETขนาด600 มิลลิลิตรจำนวน3,094 ขวดและการล้างขวดจะล้างได้ครั้งละ11ขวดจากนั้นแผ่นล็อคคอขวดจะล็อคคอขวดแล้วหมุน180 องศาแล้วหัวฉีดน้ำปริมาณ 92.33 ลิตรจะถูกฉีดน้ำล้างขวดและแผ่นล็อคคอขวดจะถูกพลิกกลับมาโดยขวดที่ล้างแล้วจะตั้งเรียงกันบนสายพานจากนั้นขวดก็จะถูกลำเลียงไปตามสายพานเพื่อเข้าสู่เครื่องบรรจุน้ำของเสียที่ออกจากกระบวนการได้แก่น้ำล้างขวด92.33 ลิตรจะถูกปล่อยลงคลองหลังโรงงานและขวดเสีย15 ขวดจะถูกคัดแยกไว้เพื่อนำส่งคืนให้ทางบริษัทเพื่อที่จะนำขวดที่ไม่ชำรุดมาแทน

3. กระบวนการบรรจุน้ำวัตถุดิบนำเข้าคือขวดPET ขนาด600มิลลิลิตรและน้ำบริสุทธิ์หรือน้ำRO จำนวน1,918.47 ลิตรของเสียที่ออกจากกระบวนการได้แก่ขวดเสีย16 ขวดและน้ำเสียประมาณ26.07ลิตรที่เกิดจากหัวฉีดน้ำกรอกไม่ตรงปากขวด

4. กระบวนการปิดฝาขวดวัตถุดิบที่นำเข้าคือฝาขวด3,110ชิ้นใส่เข้าไปใหม่ในกระบวนการน้ำดื่มบรรจุขวดที่มาจากกระบวนการบรรจุน้ำจำนวน3,063ขวดเครื่องปิดฝาขวดจะปิดได้ครั้งละ1ขวดของเสียเกิดจากขวดล้มระหว่างการลำเลียงตามสายจำนวน77.20ลิตรขวดเสีย37ขวดและฝาเสีย84ชิ้น

5. กระบวนการใส่แคปซีลวัตถุดิบนำเข้าใหม่คือแคปซีลจำนวน3,100ชิ้นและน้ำดื่มบรรจุขวดที่ปิดฝาจำนวน3,026ขวดมาจากกระบวนการปิดฝาขวดหลังจากนั้นก็ใส่แคปซีลที่คอขวดขวดก็จะลำเลียงตามสายพานเข้าสู่เครื่องเป่าลมร้อนโดยฮีตเตอร์เพื่อให้แคปซีลหดตัวส่วนของเสียที่ออกจากกระบวนการคือแคปซีลตกลงพื้นจำนวน74ชิ้น

6. กระบวนการห่อหุ้มแพ็คโหลวัตถุดิบที่นำเข้าคือฟิล์มพีอี370 x 0.070มิลลิเมตรจำนวน1ม้วนหนัก25 กิโลกรัมและน้ำบรรจุขวดที่ผ่านเครื่องอบแคปซีลจำนวน 3,026ขวดต่อน้ำ11,815.60ลิตรลำเลียงตามสายพานเข้าสู่เครื่องห่อหุ้มแพ็คโหลโดยที่เครื่องห่อหุ้มแพ็คโหลจะทำการห่อหุ้มได้ครั้งละ12ขวดใบมีดจะตัดแผ่นฟิล์มห่อหุ้ม1 ครั้งหลังจากนั้นน้ำบรรจุขวดที่ห่อหุ้มแพ็คจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องอบแพ็คโหล

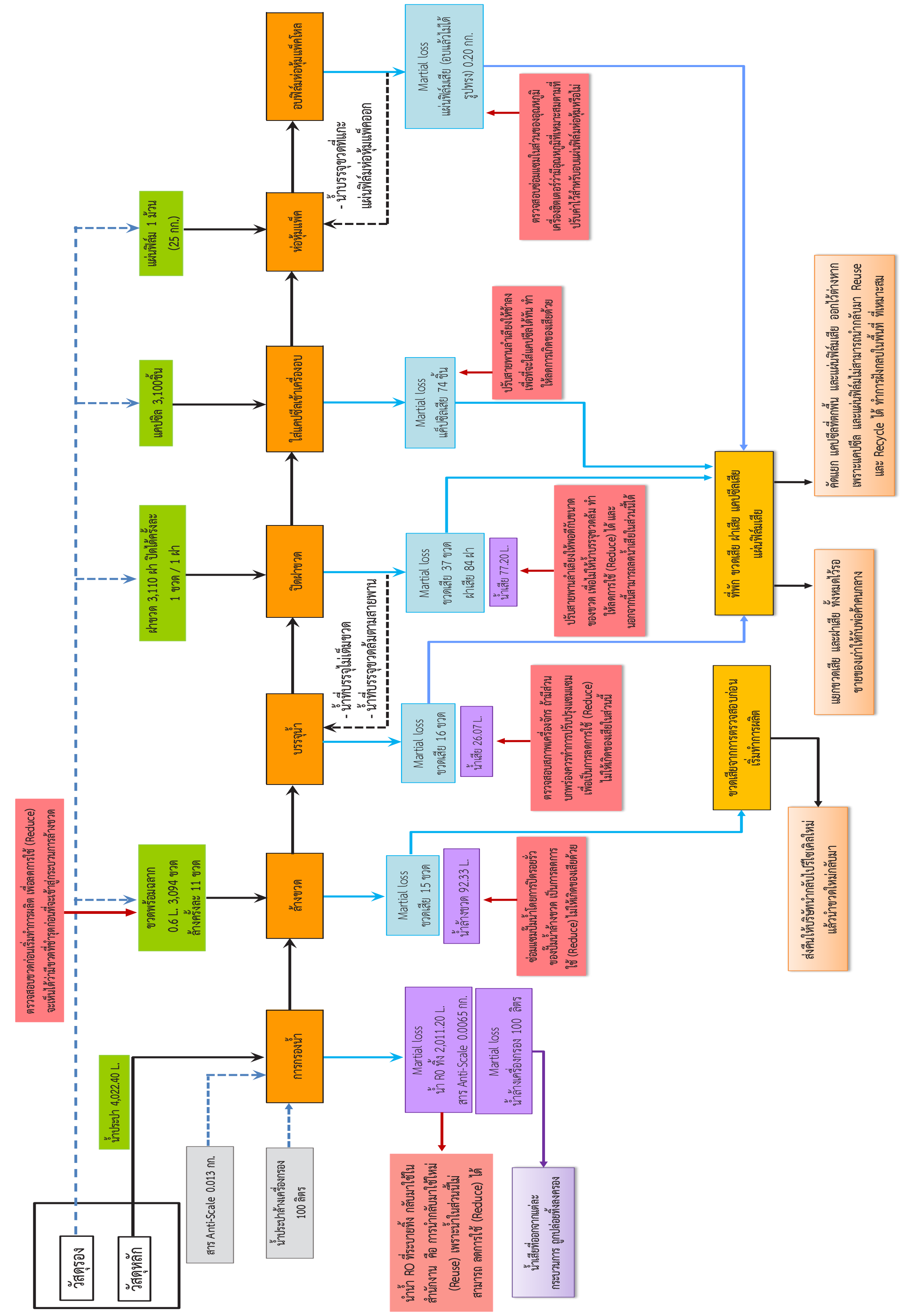
7. กระบวนการอบแผ่นฟิล์มห่อหุ้มแพ็คโหลวัตถุดิบที่นำเข้าคือน้ำบรรจุขวดที่ห่อหุ้มแพ็คโหลจำนวน 3,026ขวดจากนั้นจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องอบแพ็คโหลโดยการเป่าความร้อนของเครื่องฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิ205 องศาจนได้น้ำบรรจุขวดที่ห่อหุ้มแพ็คโหลออกมาเป็นสินค้าพร้อมจำหน่ายของเสียที่ออกจากกระบวนการคือแผ่นฟิล์มที่ห่อหุ้มไม่ได้รูปทรงตามต้องการ0.20กิโลกรัม

5.2 การคำนวณบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ

การคำนวณต้นทุนย่อยทั้ง 3 ประเภทจะใช้หลักการสมดุลมวลเข้าและออกจากแต่ละกระบวนการโดยแสดงการไหลของต้นทุนดังรูปที่ 2 และมีรายละเอียดการคิดต้นทุนดังนี้

1. ต้นทุนวัตถุดิบ (MC)ได้แก่น้ำวัตถุดิบรองได้แก่ขวดPET 600 มิลลิลิตรฝาปิดขวดแคปซีลแผ่นฟิล์ม

และสาร Anti-Scale โดยมีต้นทุนวัตถุดิบรวมทุกกระบวนการเท่ากับ 8,491.96 บาทโดยแสดงรายละเอียดในการคำนวณต้นทุนในแต่ละกระบวนการดังนี้



รูปที่ 1. แผนภาพการไหลวัสดุของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

1.1 กระบวนการกรองน้ำการกรองน้ำดื่มใช้น้ำประปาจำนวน 4,022.40 ลิตรมีต้นทุนต่อหน่วย 15 บาท/ลูกบาศก์เมตรและสาร Anti-Scale จำนวน 0.013 กิโลกรัม
ต้นทุนต่อหน่วย 140 บาท/กิโลกรัมคิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบที่มีค่าบวกเท่ากับ 62.16 บาท ((4.0224 ลูกบาศก์เมตรx 15 บาท) + (0.013 กิโลกรัมx140 บาท))

1.2 กระบวนการล้างขวดในการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด 1 ครั้งน้ำที่ใช้คือน้ำRO จำนวน 2,011.20 ลิตรรวมทั้งสารAnti-Scale 0.0065 กิโลกรัมที่ละลายในน้ำRO และขวดPET ขนาด 600 มิลลิลิตรจำนวน 3,094 ขวดมีต้นทุนต่อหน่วย 1.80 บาท/ขวดคิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบที่มีค่าบวกเท่ากับ 5,569.20 บาท (3,094 ขวดx 1.80 บาท)

1.3 กระบวนการบรรจุไม่มีการนำวัตถุดิบเข้าใหม่แต่ขวดที่ล้างเสร็จแล้วมาจากกระบวนการล้างขวดจำนวน 3,079 ขวดถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องบรรจุน้ำเครื่องบรรจุน้ำจะกรอกได้ครั้งละ 6 ขวด

1.4 กระบวนการปิดฝาขวดวัตถุดิบที่นำเข้าไปใหม่ในกระบวนการคือฝาขวดจำนวน 3,110 ชิ้นมีต้นทุนต่อหน่วย 0.20 บาท/ชิ้นคิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบที่มีค่าบวกเท่ากับ 622.00 บาท (3,110 ชิ้นx 0.20 บาท)

1.5 กระบวนการใส่แคปซีลวัตถุดิบที่นำเข้าไปใหม่ในกระบวนการคือแคปซีลจำนวน 3,100 ชิ้นต้นทุนต่อหน่วย 0.16 บาทต่อชิ้นคิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบที่มีค่าบวกเท่ากับ 496.00 บาท (3,100 ชิ้นx 0.16 บาท)

1.6 กระบวนการห่อหุ้มแพ็คโหลวัตถุดิบที่นำเข้าไปใหม่คือแผ่นฟิล์มห่อหุ้มแพ็คโหลจำนวน 1 ม้วนหนัก 25 กิโลกรัมมีต้นทุนต่อหน่วย 1,742.60 บาทต่อม้วนคิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบที่มีค่าบวกเท่ากับ 1,742.60 บาท (1 ม้วนx 1,742.60 บาท)

1.7 กระบวนการอบแผ่นฟิล์มห่อหุ้มแพ็คโหลนำวัตถุดิบต่อเนื่องจากกระบวนการห่อหุ้มแพ็คโหลจึงไม่มีต้นทุนวัตถุดิบ

ตารางที่ 1 การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบที่มีของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

กระบวนการ	ชนิดวัตถุดิบ	จำนวน	บาท
กรองน้ำ	น้ำประปา	4,022.40 ลิตร	60.34
	สารเคมี Anti Scale	0.013 กก.	1.82
ล้างขวด	ขวด PET 0.6 L. +ฉลาก	3,094.00 ขวด	5,569.20
บรรจุน้ำ	น้ำ RO	2,011.20 ลิตร	-
ปิดฝาขวด	ฝา	3,110.00 ฝา	622.00
ใส่แค็ปซิลคอขวด	แค็ปซิล	3,100.00 ชิ้น	496.00
ห่อหุ้มแพ็คโหล	แผ่นฟิล์มห่อหุ้มโหล	1 ม้วน (25 kg)	1,742.60
อบฟิล์มห่อหุ้มแพ็คโหล	-	-	-
รวม			**8,491.96**

2. ต้นทุนพลังงาน (EC) ประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าของแต่ละกระบวนการ โดยแสดงต้นทุนพลังงานแรกเริ่ม (Newly Input EC) รวมทุกแผนกทั้งหมดเท่ากับ 622.23 บาทโดยต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าคำนวณจากสูตร (กำลังไฟฟ้า (วัตต์) x จำนวนเครื่องจักร (เครื่อง) ÷1,000) x จำนวนใช้งาน (ชั่วโมง) x ราคาต้นทุนไฟฟ้า (บาท/หน่วย)และกำหนดค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3.99 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมงรายละเอียดค่าพลังงานไฟฟ้าแต่ละแผนก

3. ต้นทุนระบบการผลิต (SC) คิดเฉพาะค่าจ้างพนักงานโดยคำนวณจากจำนวนพนักงานซึ่งมีทั้งหมด 4 คนคูณจำนวนชั่วโมงทำงานจริงต่อกระบวนการผลิตคูณกับค่าแรงต่อชั่วโมงโดยกำหนดค่าแรงเฉลี่ย 348.11บาทต่อวัน

5.3 การวิเคราะห์บัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ

ต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของแต่ละกระบวนการจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือต้นทุนที่มีมูลค่าและต้นทุนที่ไม่มีมูลค่าจากการวิเคราะห์รูปที่ 2 สามารถยกตัวอย่างการวิเคราะห์ดังนี้เช่นดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 แผนกล้างขวดมีต้นทุนรวมที่รับมาจากแผนกกรองน้ำ 159.14 บาทแบ่งออกเป็นต้นทุนวัตถุดิบ 31.08 บาทต้นทุนระบบ 65.27 บาทต้นทุนพลังงาน 62.79 บาทและรวมกับต้นทุนที่เกิดขึ้นในแผนกล้างขวดอีก 5818.89 บาทซึ่งเกิดจากต้นทุนวัตถุดิบ 5,569.20 บาทต้นทุนระบบ 130.54 บาทต้นทุนพลังงาน 119.15 บาทรวมต้นทุนทั้งหมดในแผนกเท่ากับ 5,978.03

บาทซึ่งแบ่งออกเป็นต้นทุนวัตถุดิบ 5,600.28 บาทต้นทุนระบบ 195.81 บาทต้นทุนพลังงาน 181.94 บาทแต่ในแผนกนี้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าลบร้อยละ 0.51 ซึ่งคิดเป็นต้นทุนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า 30.32 บาทและต้นทุนที่ก่อให้เกิดมูลค่า 5,947.71 บาทโดยประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบ 5,571.87บาทต้นทุนระบบ 194.82 บาทต้นทุนพลังงาน 181.02 บาทส่วนต้นทุนที่ยกไปแผนกบรรจุน้ำให้คิดเฉพาะต้นทุนที่ก่อให้เกิดมีมูลค่าร้อยละ 99.48 เป็นต้นเมื่อวิเคราะห์ครบทุกแผนกแล้วปรากฏว่าผลรวมต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดมูลค่าจำนวน 8,334.75 บาท คิดเป็นร้อยละ 86.49 โดยต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าแบ่งออกเป็นต้นทุนวัสดุ 7,414.76 บาท (ร้อยละ 76.94) ต้นทุนระบบการผลิต 420.66 บาท (ร้อยละ 4.37) และต้นทุนพลังงาน 499.42 บาท (ร้อยละ 5.18) และในส่วนของต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีมูลค่าเท่ากับ 1,301.60 บาท (ร้อยละ 13.51) ซึ่งแบ่งออกเป็นต้นทุนวัตถุดิบ 1,077.29 บาท (ร้อยละ 11.18) ต้นทุนระบบการผลิต 101.51 บาท (ร้อยละ 1.05) และต้นทุนพลังงาน 122.81 บาท (ร้อยละ 1.28) รายละเอียดดังตารางที่ 3 อย่างไรก็ตามหากจะพิจารณาต้นทุนแบบโดยทั่วไปต้นทุนรวมของน้ำดื่มบรรจุขวดPET ขนาด 600 มิลลิลิตรเท่ากับ 9,636.35 บาท ต่อการผลิต 3,026 ขวดคิดเป็นต้นทุนเท่ากับ 3.18 บาทต่อขวดโดยไม่สามารถทราบว่าต้นทุนไม่มีมูลค่าและเกิดจากขั้นตอนใดหากคิดต้นทุนแบบทั่วไป

MFCA Flow Chart

cost item	การกรองน้ำ	ล้างขวด	บรรจุน้ำ	ปิดฝาขวด	ใส่แค็ปซิล	ห่อหุ้มแพ็ค	อบฟิล์มห่อหุ้มแพ็ค	รวม
Newly input total cost								
Total	**318.28**	**5,818.89**	**77.27**	**721.62**	**672.26**	**1811.38**	**216.65**	**9,636.35**
Newly input MC	62.16	5,569.20	0.00	622.00	496.00	1742.60	0.00	8,491.96
Newly input SC	130.54	130.54	0.00	0.00	130.54	0.00	130.54	522.16
Newly input EC	125.59	119.15	77.27	99.62	45.72	68.78	86.11	622.23
Total cost handed over from								
previous **Total**	-	**159.14**	**5,947.71**	**5,993.62**	**5,806.86**	**6,324.46**	**8,135.84**	
process MC from previous process	-	31.08	5,571.87	5,542.87	5,330.94	5,687.85	7,430.45	
SC from previous process	-	65.27	194.82	193.80	167.59	291.01	291.01	
EC from previous process	-	62.79	181.02	256.95	308.33	345.60	414.38	
Process Total of input cost								
Total	**318.28**	**5,978.03**	**6,024.98**	**6,715.23**	**6,479.13**	**8,135.84**	**8,352.49**	**8,352.49**
Input MC	62.16	5,600.28	5,571.87	6,164.87	5,826.94	7,430.45	7,430.45	7,430.45
Input SC	130.54	195.81	194.82	193.80	298.13	291.01	421.55	421.55
Input EC	125.59	181.94	258.29	356.56	354.05	414.38	500.49	500.49
Percent quanlity of Positive product	**50.00%**	**99.49%**	**99.48%**	**86.47%**	**97.61%**	**100.00%**	**99.79%**	
Percent quanlity of negative product	**50.00%**	**0.51%**	**0.52%**	**13.53%**	**2.39%**	**0.00%**	**0.21%**	
Positive product cost total								
Total	**159.14**	**5,947.71**	**5,993.62**	**5,806.86**	**6,324.46**	**8,135.84**	**8,334.75**	**8,334.75**
positive produc MC	31.08	5,571.87	5,542.87	5,330.94	5,687.85	7,430.45	7,414.67	7,414.67
positive produc SC	65.27	194.82	193.80	167.59	291.01	291.01	420.66	420.66
positive produc EC	62.79	181.02	256.95	308.33	345.60	414.38	499.42	499.42
Negative product cost total								
Total	**159.14**	**30.32**	**31.36**	**908.37**	**154.66**	-	**17.74**	**1,301.60**
negative product MC	31.08	28.41	29.00	833.92	139.09	-	15.78	1,077.29
negative product SC	65.27	0.99	1.01	26.22	7.12	-	0.90	101.51
negative product EC	62.79	0.92	1.34	48.23	8.45	-	1.06	122.81

หมายเหตุ : MC หมายถึง Material Cost
SC หมายถึง System Cost
EC หมายถึง Energy Cost

รูปที่ 2 แผนภาพบัญชีต้นทุนการไหลของวัสดุของน้ำดื่ม

5.4 การวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางการจัดการต้นทุนความสูญเสีย

ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุความสูญเสียของต้นทุนแต่ละประเภทรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4 แผนกที่เกิดการสูญเสียมากที่สุดคือแผนกปิดฝาแผนกกรองและใส่แค็ปซิลคอขวดตามลำดับโดยสาเหตุหลักเกิดจากการสูญเสียต้นทุนวัตถุน้ำระหว่างการลำเลียงและการขวดน้ำไม่ได้มาตรฐาน

ดังนั้นจึงหาแนวทางลดต้นทุนความสูญเสียโดยการระบุปัญหาในแต่ละกระบวนการมาทำการพิจารณา

และทำการเลือกปัญหาเพื่อทำการแก้ไขและปรับปรุงโดยใช้แนวคิดหลักการ3R (Reduce Reuse Recycle):ซึ่งหาความเป็นไปได้โดยการลดการใช้การบริโภคทรัพยากรที่ไม่จำเป็นลงการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด (Reduce) โดยการนำสิ่งของเครื่องใช้มาใช้ซ้ำ(Reuse) การนำหรือเลือกใช้ทรัพยากรที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลหรือ

ตารางที่2ต้นทุนความสูญเสียของต้นทุนผลิตภัณฑ์

ส่วนประกอบต้นทุน	ต้นทุนความสูญเสีย (Negative Product Cost ในแต่ละแผนก) (บาท)					
	กรองน้ำ	ล้างขวด	บรรจุน้ำ	ปิดฝา	ใส่แค็ป ซิลคอขวด	อบฟิล์ม ห่อหุ้ม
ต้นทุนวัตถุดิบ	31.08	28.41	29.00	833.92	139.09	15.78
ต้นทุนระบบ	65.27	0.99	1.01	26.22	7.12	0.90
ต้นทุนพลังงาน	62.79	0.92	1.34	48.23	8.45	1.06
รวม	159.14	30.32	31.36	908.37	154.66	17.74
คิดเป็นร้อยละ	12.00%	2.00%	2.00%	70.00%	12.00%	1.00%

นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ผลการศึกษาแนวทางการลดการสูญเสียถูกประเมินอยู่ในรูปของมูลค่าที่สามารถลดได้ซึ่งมีทั้งหมด9แนวดังนี้คือ1) ลดความสูญเสียของขวดก่อนเริ่มทำการผลิตเพื่อนำขวดเสียส่งคืนให้กับทางบริษัทนำกลับไปRecycle ใหม่ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ 2,511.30บาท/ปี2) ลดการสูญเสียของน้ำโดยการปิดรอยรั่วของปั้มน้ำล้างขวดซึ่งจัดเป็นการลดการเกิดของเสียและสามารถลดต้นทุนได้20.46บาท/ปี3) นำขวดเสียที่ออกจากกระบวนการบรรจุน้ำไว้ขายเพื่อที่จะนำกลับไปรีไซเคิลด้วยกรรมวิธีต่างๆซึ่งให้ผลตอบแทน446.40บาท/ปี4) นำขวดเสียที่ออกจากกระบวนการปิดฝาขวดไว้ขายผลตอบแทนที่ได้1,281.54บาท/ปี5) ลดการสูญเสียของน้ำที่ออกจากกระบวนการบรรจุโดยทำการตรวจสอบส่วนที่บกพร่องของเครื่องจักรเป็นการลดปริมาณของเสียสามารถลดต้นทุนได้36.27บาท/ปี6) ลดการสูญเสียของน้ำในขวดที่ล้มตามสายพานลำเลียงโดยการปรับให้พอดีกับขนาดของขวดโดยสามารถลดต้นทุนได้107.88บาท/ปี 7) ลดการสูญเสียแคปซีลที่ตกพื้นโดยการปรับสายพานลำเลียงให้ช้าลงช่วยให้ลดปริมาณของเสียที่ออกจากกระบวนการได้สามารถประหยัดได้1,101.12บาท/ปี8) ลดการสูญเสียของน้ำRO ที่ระบายทิ้ง50%โดยการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเช่นเช่นนำกลับมาใช้ในสำนักงานรดน้ำต้นไม้ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้221.34บาท/ปีโดยมีเงินลงทุน600บาทระยะเวลาคืนทุน2ปี7เดือน9) ลดการสูญเสียของแผ่นฟิล์มห่อหุ้มแพ็คโหลที่ไม่ได้รูปทรงโดยการตรวจสอบซ่อมบำรุงเครื่องฮีตเตอร์อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับอบแผ่นฟิล์มห่อหุ้มแพ็คโหลซึ่งมีเงินลงทุน1,000 บาทระยะเวลาในการคืนทุน9ปี6เดือน

อย่างไรก็ตามหากดำเนินกิจกรรมทั้งหมดคาดว่าจะสามารถประหยัด5,294.79 บาทโดยมีเงินลงทุน 1,600 บาทซึ่งคาดว่าจะคืนทุนภายใน 3เดือนรายละเอียดแสดงดังตารางที่3

ตารางที่ 3 สรุปการวิเคราะห์หาสาเหตุความสูญเสียและแนวทางการลดต้นทุน

แนวทาง	เงินลงทุน (บาท)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
1. กระบวนการกรองน้ำ			
1.1. ลดการสูญเสียของ น้ำRO ที่ระบายทิ้ง 50%	600	221.34	2.7
2. กระบวนการล้างขวด			
2.1 ทำการตรวจสอบขวดก่อนเริ่มทำการผลิต	0	2,511.30	-
2.2 ลดการสูญเสียของน้ำที่ปั๊มน้ำมีรอยรั่วโดยการปิดรอยรั่วของปั๊มน้ำ	0	20.46	-
3. กระบวนการบรรจุน้ำ			
3.1 ลดความสูญเสียของน้ำที่ออกจากกระบวนการ	0	36.27	-
3.2 นำขวดเสียที่ออกจากกระบวนการไว้ขาย	0	446.4	-
4. กระบวนการปิดฝาขวด			
4.1 ลดความสูญเสียของน้ำที่ล้มตามสายพานลำเลียง	0	107.88	-
4.2 นำขวดเสีย และฝาเสียไว้ขาย	0	1,281.54	-
5. กระบวนการใส่แคปซีล			
5.1 ลดการสูญเสียของแคปซีลที่ตกพื้น	0	1,101.12	-
6. กระบวนการอบแผ่นฟิล์มห่อหุ้มแพ็คโหล			
6.1 ลดการสูญเสียของแผ่นฟิล์มห่อหุ้มแพ็คโหลที่ไม่ได้รูปทรง	1,000.00	1,296.42	0.77
รวม	1,600.00	7,022.73	-
ต้นทุนรวมทั้งหมด	1,600.00	7,022.73	0.23

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการคำนวณบัญชีต้นทุนการไหลของวัสดุและวิเคราะห์หาแนวทางเพื่อลดความสูญเสียใน

กระบวนการผลิตน้ำดื่มซึ่งได้ประยุกต์ใช้กับโรงงานน้ำดื่มขนาด600 มิลลิลิตรทั้งนี้จากผลการศึกษาพบว่ามีต้นทุนที่มีมูลค่าเท่ากับ8,334.75 บาทคิดเป็น86.49% โดยแบ่งออกเป็นต้นทุนวัสดุ7,414.76 บาทคิดเป็น76.94% ต้นทุนระบบการผลิต420.66 บาทคิดเป็น4.37% และต้นทุนพลังงาน499.42 บาทคิดเป็น5.18% ในส่วนของต้นทุนที่ไม่มีมูลค่าเท่ากับ1,301.60 บาท13.51% ซึ่งเกิดต้นทุนวัสดุที่สูญเสีย1,077.29 บาทคิดเป็น11.18% ต้นทุนระบบการผลิต101.51 บาทคิดเป็น1.05% และต้นทุนพลังงาน122.81 บาทคิดเป็น1.28% ดังนั้นต้นทุนรวมทั้งเท่ากับ9,636.35 บาทซึ่งแบ่งออกเป็นต้นทุนวัสดุทั้งหมดเท่ากับ8,491.96 บาทคิดเป็น88.12% ต้นทุนระบบการผลิตทั้งหมด522.16 บาทคิดเป็น5.42% ต้นทุนพลังงานทั้งหมด622.23 บาทคิดเป็น6.46% สาเหตุที่เกิดความสูญเสียมากที่สุดคือน้ำบรรจุขวดล้มตามสายพานก่อนที่จะเข้าเครื่องปิดฝาและเกิดจากเครื่องปิดฝาที่ปิดฝาขวดไม่ลงล็อคจึงทำให้เกิดฝาเสียขวดเสียตามไปด้วยกล่าวคือมีการสูญเสียทั้งขวดฝาและน้ำที่บรรจุอยู่ในขวดนั่นเอง แนวทางการวิเคราะห์ลดการสูญเสียโดยใช้หลักการของ 3Rซึ่งมีความเป็นไปได้โดยผลที่สามารถประหยัดได้ทั้งหมดเท่ากับ5,294.79 บาท/ปีคิดเป็น47.12% ของต้นทุนทั้งหมดซึ่งมีเงินในการลงทุนทั้งหมด1,600 บาท ระยะเวลาในการคืนทุน3เดือนนอกจากนี้ยังมีผลตอบแทนที่ได้จากการขายขวดเสียและฝาเสียทั้งหมดเท่ากับ1,727.94 บาท/ปีเทคนิคการวิเคราะห์บัญชีต้นทุนการไหลของวัสดุเป็นเครื่องมือที่สามารถค้นพบต้นทุนความสูญเสียที่แฝงอยู่ในกระบวนการผลิตซึ่งมีความเหมาะสมจะนำไปขยายผลประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัยครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง (Reference)

[1] น้ำเพชรพรหมณา. (2556). รายงานการเข้าร่วมโครงการเอพีโอAdvanced Training Course for Green Productivity Practitioners : December 9-13, 2013. กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.

[2] Furukawa, and Hiroshi Tachikawa (2009). Material flow cost accounting with ISO 14051. ISO Management Systems. January-February 2009 p.15

[3] กมลชนกอึ้งสุวรรณ, จันทิมาบุษบามินตรา. (2553). แผนธุรกิจน้ำดื่มตราDuO [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.info.ms.su.ac.th/sums02/PDF01/2553/GB/37.pdf

[4] Nakajima, M. (2004) On the Differences between Material Flow Cost Accounting and Traditional Cost Accounting-In and Misunderstandings on MFCA. Kansai University Review of Business and Commerce 1-17.

[5] Kokubu, K. Nakajima, M. (2004). Material Flow Cost Accounting in Japan: A New Trend of Environmental Management Accounting Practices. Accepted for Presentation at the Fourth Asia Pacific Interdisciplinary. Research in Accounting Conference: 1-16.

[6] Nakajima, M. (2009), “The Possibility for Material Flow Cost Accounting in the Supply Chain: Possibility of Environmental Keiretsu’, Environment Management, 45(4), pp. 60–65.

[7] สรรฐติชัยชีวสุทธิศิลป์และคมศักดิ์หารไชย. (2557) . การประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตลำไยอบแห้ง.วารสารมหาวิทยาลัยนครพนม4(2): 8 -11.

[8] Van der Poll H.M. (2014). Facilitating a greener environment through Management Accounting. African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure 4(Special edition): 1-15.

[9] อัตพลภูอภิรมย์. (2556). การประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลของวัสดุในบริษัทอิมพีเรียลพอทเทอรี่จำกัด. วิทยานิพนธ์คณะวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[10] Schmidt, A. Sygulla, R. (2015). Extending the scope of Material Flow Cost Accounting methodical refinements and use case. Journal of Cleaner Production 108(1): 1320-1332.

[11] Tachikawa, H. (2004). Manual on Material flow cost accounting with ISO 14051. Asian Productivity Organization;.1-15.

การถ่ายเทความร้อนในเครื่องผลิตไอศกรีมโบราณขนาดพกพา

Heat Transfer in a Portable Traditional Ice Cream Can

สุรจิตร์ พระเมือง[1*] ภูมิภัทร วะลับ[2] และยุรนันท์ คำบัวพา[2]

Surajitr Pramuang[1*] Poompat Walab[2] and Yuranan Kambuapa[2]

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย234
ถนนเลย-เชียงคาน ตำบลเมือง อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000
อีเมล์ surajitr@lru.ac.th โทร. 042835223 – 8 ต่อ45109 โทรสาร 042835238
[2] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย234
ถนนเลย-เชียงคาน ตำบลเมือง อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

บทคัดย่อ

การผลิตไอศกรีมโบราณจะต้องใช้อุณหภูมิต่ำกว่า -10องศาเซลเซียส โดยการผสมเกลือแกงลงในน้ำแข็งซึ่งการวิจัยนี้ได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเกลือกับน้ำแข็งทำให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการทำไอศกรีมโบราณทำการทดลองผสมเกลือกับน้ำแข็งอัตราส่วน เกลือต่อน้ำแข็งเป็น 1:1 1:2 1:3 1:6 2:3 4:3 5:6 และ 7:6 ลงในบิกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตรแล้วทำการวัดอุณหภูมิเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นสร้างถังผลิตไอศกรีมขนาดเล็กสามารถพกพาได้สะดวก โดยการใช้แรงเขย่าถังทำจากกระบอกโลหะสแตนเลส 2 ชั้น ชั้นนอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตรและชั้นในเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร แล้วหุ้มด้วยแผ่นฉนวนโพลีเอทธีลีนหนา 1.5เซนติเมตรออกแบบให้กระบอกชั้นในมีการขยับขึ้นลงตามแรงเขย่าด้วยการติดสปริงที่ปลาย 2 ข้าง ช่องว่างระหว่างกระบอกชั้นในกับชั้นนอกจะใส่น้ำแข็งบดละเอียดผสมเกลือในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ อัตราส่วน เกลือต่อน้ำแข็ง 3:2 ทำให้ได้อุณหภูมิต่ำสุด -18.8 องศาเซลเซียสและค่อนข้างคงที่ ถังผลิตไอศกรีมโบราณขนาดพกพาสามารถทำไอศกรีมได้ครั้งละ 160 มิลลิลิตร ใช้น้ำแข็ง 0.52 กิโลกรัมกับเกลือ 0.43กิโลกรัมใช้เวลาในการเขย่า 14-15 นาทีจะได้ไอศกรีมโบราณที่มีการแข็งตัวพอดี และจากการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของถังซึ่งใช้วิธีการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกของถัง ได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้เท่ากับ 0.06 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ กระดาษที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.05 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส

Abstract

The production of the traditional ice cream needs very low temperature under -10°C by mixing salt to ice. This study investigated the optimal ratio of salt and ice to produce an appropriate temperature for making traditional ice cream. Salt and ice were mixed in a beaker of 1000 ml with the ratio of 1:1, 2:1, 3:1, 3:2, 3:4, 6:1, 6:5 and 6:7 to measure the minimum temperatures. Next, a portable shaking ice cream tank was constructed using stainless steel cylinders 2 layers. The outer and inner layers have diameters of 7.5 cm and 3 cm respectively insulatedby polyethylene 1.5 thickness.The internal cylinder was designed vibration according to the shaking force by spring attachment at the cylinder ends. The gap between the outer and inner cylinders filled the mixing ice and salt with the optimal ratio which was obtained already. It was the ratio 3:2 and the minimum temperature of -18.8 °C constantly. The capacity of portable ice cream tank was 160 ml using ice 0.52kg and salt 0.43 kg for the each by duration of 14-15 min. This time produces the optimum freeze ice cream. The conduction heat transfer coefficient (k) for the tank, by the method of measuring the temperatures different between the inner and outer layers was 0.06 W/m°C. This value was closed to the value of paper by 0.05 W/m°C.

คำสำคัญ : การถ่ายเทความร้อน,ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, เครื่องผลิตไอศกรีมโบราณ

Keywords : Heat Transfer, Heat Conductive Coefficient, Portable Traditional Ice Cream

1. บทนำ

ไอศกรีมเป็นของหวานหรือเครื่องดื่มที่ช่วยคลายร้อน เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทั้งในประเทศที่อยู่ในเขตร้อนหรือเขตหนาวในทุกเพศทุกวัย ซึ่งมีรสชาตให้เลือกหลากหลาย ไอศกรีมโบราณมีส่วนประกอบหลักคือกระทิ นมและน้ำตาล ทำให้เย็นจัดจนเกิดการแข็งตัวเป็นวุ้น มีการเติมส่วนผสมอื่นลงไปเพื่อให้ได้รสชาติที่แตกต่างและตรงตามสมัยนิยม มีการพัฒนาสูตรไอศกรีมเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้คนในปัจจุบันที่มีรสนิยมในการบริโภคที่แปลก ๆ ใหม่ ๆ ไอศกรีมโบราณก็เช่นกัน นันทพร อัคนิจ (2554) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมสมุนไพรโดยใช้พืชสมุนไพรเป็นส่วนผสม ได้แก่ ไอศกรีมกระเจี๊ยบพุทราจีนไอศกรีมตะไคร้และไอศกรีมขิงผสมในอัตราส่วน 4 ระดับได้แก่ร้อยละ 10 20 30 และ 40 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมสูงสุดเป็นไอศกรีมกระเจี๊ยบพุทราจีนตะไคร้และขิงที่มีปริมาณสมุนไพรร้อยละ 10 แต่ทางเลือกในการผลิตไอศกรีมได้เองในครัวเรือน ยังมีผู้ที่ให้ความสนใจน้อยเนื่องจากอุปกรณ์การผลิตไอศกรีมจะต้องใช้อุณหภูมิต่ำมาก ๆ และมีขนาดใหญ่ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายอยู่ทั่วไป การวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไอศกรีมโบราณขนาดเล็กและสามารถพกพาได้ โดยศึกษาการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ เครื่องผลิตไอศกรีมโบราณ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเครื่องผลิตไอศกรีมโบราณขนาดพกพา

การถ่ายเทความร้อน

1.การนำความร้อน เป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนเกิดการถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อน ซึ่งจะเกิดขึ้นในโลหะ โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หาได้จากสมการ

$$k = \frac{q}{A}\frac{\Delta x}{\Delta T} \qquad (1)$$

เมื่อ q = อัตราการนำความร้อน (วัตต์)

A = พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน (ตารางเมตร)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Δx = ระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน (เมตร)

k =ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส)

2. การพาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ตัวกลางสามารถเคลื่อนที่ได้ แบ่งเป็นการพาความร้อนตามธรรมชาติหรือแบบอิสระ โดยการถ่ายเทความร้อนไม่มีกลไกใดๆทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่เกิดจากแรงลอยตัวของของไหลเองและการพาความร้อนแบบบังคับ โดยการถ่ายเทความร้อน จะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปโดยกลไกภายนอก

3.การแผ่รังสีความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องใช้ตัวกลาง การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศได้ โดยวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า -270 องศาเซลเซียสหรือ 0 เคลวิน จะเกิดการแผ่รังสีความร้อน

คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ

วัสดุแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ โลหะจะมีคุณสมบัติการนำความร้อนได้ดีกว่าอโลหะ โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนบางชนิด (ตารางที่ 1)และคุณสมบัติของฉนวนความร้อนแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุบางชนิด

วัสดุ	ค่า k (W/m°C)
โฟมโพลีเอททีลีน	0.023
โฟมแผ่น (โพลีสไตลิน)	0.031
ฉนวนใยแก้ว	0.035
ไม้อัด	0.123
แผ่นยิปซัม	0.191

ที่มา : ASHRAE Handboo

ตารางที่ 2 ประเภทฉนวน กันความร้อน - ความเย็น และคุณสมบัติ

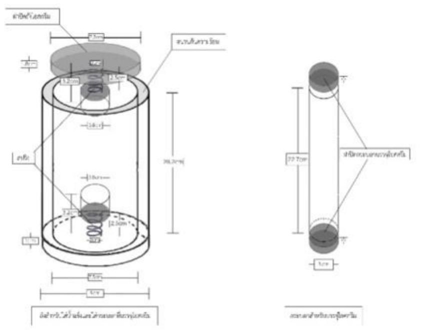
ประเภทฉนวน	คุณสมบัติ	ข้อดี	ข้อเสีย
1) อลูมิเนียมฟอยล์	ค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของผิวต่ำ	คุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนสูง ทนความชื้นได้ดี ไม่ติดไฟและไม่ฉีกขาดง่าย	ป้องกันเสียงได้ไม่ดี
2) โพลียูรีเทนโฟม	เป็นฉนวนที่กันความร้อนและเก็บความเย็นได้ดี	คุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ รองรับน้ำหนักกดทับได้ดีและป้องกันเสียงได้ดี	เกิดก๊าซพิษเมื่อถูกไฟไหม้
3) ใยแก้ว	เป็นแก้วหรือเศษแก้วนำมาหลอมและจนเป็นเส้นใยละเอียดแล้วอัดรวมกัน	คุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำและป้องกันเสียงได้ดี	เส้นใยก่อให้เกิดการระคายเคือง ไม่เหมาะกับการใช้งานที่เปิดโล่งโดยไม่มีอะไรปกคลุม
4) แร่ใยหิน (Mineral Wool)	เป็นเส้นใยจากธรรมชาติ มีสารประกอบของ แอสเบสตอส (Asbestos)	คุณสมบัติในการกันความร้อนและดูดซับเสียงที่ดีและทนไฟ	ไม่ทนทานต่อความเปียกชื้นและไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ
5) เซลลูโลส (Cellulose)	เป็นวัสดุ Recycle ผสมเคมี เพื่อช่วยให้เกิดการยึดติด	คุณสมบัติในการกันความร้อนและเสียงที่ดี ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม	ไม่ทนต่อน้ำและความชื้น มีโอกาสหลุดล่อนได้

ที่มา : http://www.bitbkk.com

2. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบและการสร้างเครื่องผลิตไอศกรีมโบราณ แนวคิดการออกแบบกระบอกไอศกรีมขนาดพกพาเพื่อการใช้งานที่ง่ายและสะดวกสามารถผลิตไอศกรีมได้ในเวลาไม่นาน จึงเลือกใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลสเพื่อป้องกันการเกิดสนิม โดยแบบออกเป็น 2 ชั้น ชั้นในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตรสูง 22.7 เซนติเมตร กระบอกชั้นนอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร สูง 28.2เซนติเมตร (ดังรูปที่ 1)โดยมีสปริงระหว่างกระบอกชั้นในและชั้นนอกให้สามารถเขย่าได้ กระบอกชั้นนอกหุ้มด้วยโฟมโพลีเอทธีลีนหนา 0.5 เซนติเมตร (ดังรูปที่ 2) จะได้กระบอกไอศกรีมที่สามารถผลิตไอศกรีมได้ครั้งละ 160 มิลลิลิตร และใช้น้ำ

ใส่ระหว่างกระบอกชั้นในและชั้นนอกปริมาณครั้งละ 500 กรัม



รูปที่ 1 การออกแบบกระบอกสแตนเลสชั้นนอก

รูปที่ 2 กระบอกไอศกรีมที่ทำสำเร็จ

2. การศึกษาอัตราส่วนระหว่างเกลือกับน้ำแข็ง

ส่วนผสมระหว่างเกลือกับน้ำแข็งบดละเอียดเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยผสมเกลือกับน้ำแข็งในบีกเกอร์ในอัตราส่วนในอัตราส่วนเกลือต่อน้ำแข็งเป็น 1:1 1:2 1:3 1:6 2:3 4:3 5:6 และ 7:6แล้วทำการวัดอุณหภูมิน้ำแข็งของแต่ละอัตราส่วน ทุก ๆ 30 วินาที นาน 60 นาที เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการผลิตไอศกรีมโบราณ โดยใช้ส่วนผสมของ ผงไอศกรีมสำเร็จรูปที่มีในท้องตลาดผสมกับนมจืด แล้วแขย่าจนกระทั่งไอศกรีมแข็งตัว โดยใช้เวลา 14-15 นาที

3.การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนร้อนของกระบอกไอศกรีมขนาดพกพา โดยวัดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำแข็งภายในกระบอกและอุณหภูมิผิวนอกกระบอกโดยวัดทุก ๆ 30 วินาที นาน 35 นาที แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน จากสมการ

$$k = \frac{ml}{tA}\frac{\Delta x}{\Delta T} \qquad (2)$$

เมื่อ

m = มวลของน้ำแข็ง (0.7กิโลกรัม)

l = ค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (334 กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

t = เวลา (30 วินาที)

A = พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน(0.07969 ตารางเมตร)

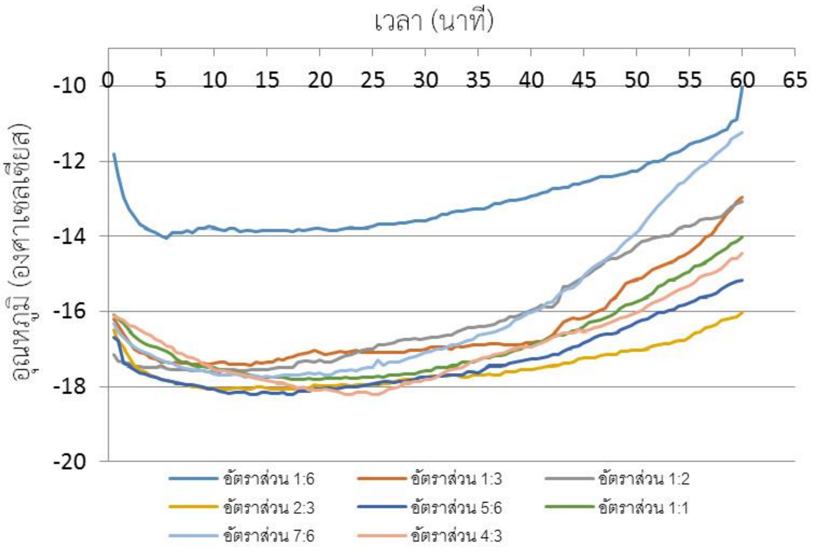
ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Δx = ความหนาของกระบอกชั้นนอกรวมฉนวน (0.015เมตร)

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์ต่อเมตรองศาเซลเซียส)

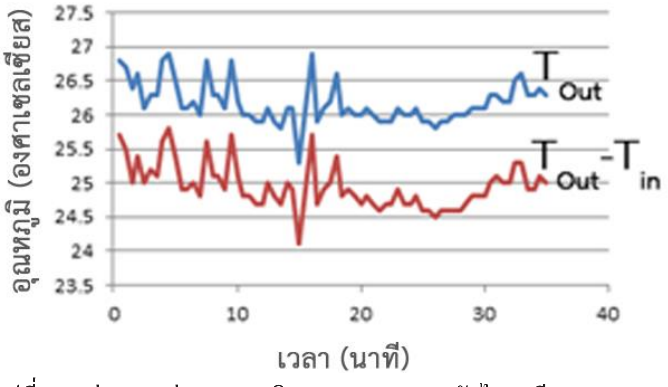
3. ผลการวิจัย

อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเกลือกับน้ำแข็งที่ให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมอุณหภูมิต่ำสุดและรักษาความเย็นได้นาน ของอัตราส่วน1:1 1:2 1:3 1:6 2:3 4:3 5:6 และ 7:6 พบว่าอัตราส่วน 2:3ได้อุณหภูมิที่ -18.8 องศาเซลเซียส และรักษาความเย็นได้นาน 60 นาที โดยมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปเพียง 2.8 องศาเซลเซียสได้ผลดังรูปที่ 3โดยพบว่าอัตราส่วนของเกลือร้อยละ 40 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม แต่หากเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเกลือมากกว่านี้หรือต่ำกว่านี้ จะทำให้ใช้เวลานานในการให้ไอศกรีมแข็งตัวเป็นน้ำแข็ง



รูปที่ 3แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาของอัตราส่วนระหว่างเกลือกับน้ำแข็ง

อุณหภูมิของกระบอกชั้นในจะแปรผันตามอุณหภูมิของกระบอกชั้นนอก โดยมีค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในเฉลี่ย 26.18 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 1.33 องศาเซลเซียสดังแสดงในรูปที่ 4ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำความร้อนของฉนวนที่เลือกใช้มีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนต่ำ และเมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของกระบอกไอศกรีม ได้ค่าเท่ากับ 0.06 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ซึ่งมีสมบัติเป็นฉนวนใกล้เคียงกับกระดาษที่มีค่าเท่ากับ 0.05 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน



รูปที่ 4ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายและภายนอกถังไอศกรีมขนาดพกพา

การแข็งตัวของไอศกรีมตรวจสอบโดยการสังเกตเมื่อเวลาผ่านไป 10 12 14 และ 15 นาทีตามลำดับ ซึ่งได้ไอศกรีมดังรูปที่แสดงในรูปที่ 5พบว่าไอศกรีมมีการแข็งตัวเป็นแท่ง เมื่อเวลาผ่านไป 14-15 นาที ซึ่งเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบสัมผัสตรง สอดคล้องกับการศึกษาของถวิล แสงธรรมชีวีน (2552) ที่ได้ศึกษาการกักเก็บสะสมพลังงานโดยวิธีการถ่ายเทความร้อนแบบสัมผัสตรงในการประยุกต์ระบบกักเก็บความเย็นในรูปน้ำแข็งเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำงานที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย- 4 ถึง– 8 องศาเซลเซียสที่ไหลเวียนในระบบ

รูปที่ 5 ไอศกรีมที่มีความแข็งพอเหมาะต่อการรับประทาน

4. สรุปผลการวิจัย

การออกแบบและสร้างกระบอกไอศกรีมโบราณขนาดพกพาที่ทำจากสแตนเลสอาศัยแรงเขย่าให้กระบอกชั้นในเกิดการสั่นตามจังหวะการเขย่าสามารถทำไอศกรีมครั้งละ 160 มิลลิลิตร มีปริมาณเพียงพอสำหรับคน 2 คน ใช้เวลาในการทำประมาณ 15 นาที โดยใช้น้ำแข็งผสมเกลือ อัตราส่วนเกลือต่อน้ำแข็งเป็น 2 : 3ซึ่งทำให้ได้อุณหภูมิต่ำสุด -18.8 องศาเซลเซียส กระบอกไอศกรีมมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.06 วัตต์ต่อเมตรองศาเซลเซียสใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของกระดาษ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบสัมผัสตรง

5. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนที่หุ้มเครื่องผลิตไอศกรีมส่งผลต่อการรักษาอุณหภูมิให้ต่ำอยู่ได้นาน การเลือกวัสดุเป็นฉนวนหุ้มที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำจะช่วยให้ใช้นำแข็งในปริมาณน้อย ๆ ได้ และความถี่ของการเขย่ากระบอกผลิตไอศกรีมส่งผลต่อระยะเวลาในการแข็งตัวการที่ใช้สปริงที่มีความยืดหยุ่นดีและระยะการกระจัดที่เหมาะสมจะช่วยให้การผลิตไอศกรีมใช้เวลาสั้นลง

6. เอกสารอ้างอิง

ถวิล แสงธรรมชีวิน. (2552). **การกักเก็บสะสมพลังงานโดยวิธีการถ่ายเทความร้อนแบบสัมผัสตรง**.คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

นันทพร อัคนิจ. (2554). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมสมุนไพร.** ปริญญานิพนธ์. วิทยานิพนธ์. ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

บางกอก อินทิเกรเท็ด เทรดดิ้ง, บริษัท จำกัด. (2558). **ประเภทฉนวนกันความร้อน และคุณสมบัติ**. ออนไลน์. http://www.bitbkk.com/ประเภทฉนวนกันความร้อน. (26 เมษายน 2559).

วอลล์ เทคโนโลยี, บริษัท จำกัด. (2557). **คู่มือวิชาการของสถาบันวิศวกรรมความร้อน ความเย็น และระบบปรับอากาศ แห่งสหรัฐอเมริกา (ASHRAE Handbook).** ออนไลน์. http://www.wtg.co.th/index.php/th/news/knowledge-insulated-sandwich-panel/146-heating-insulation-for-ceiling.html, (13 เมษายน 2559).

ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าแบบประหยัดของแหล่งพลังงานทดแทนร่วมเพื่อชุมชน

Low Cost Electrical Controller System of Hybrid Renewable Energy Designed for Community

จักรี ศรีนนท์ฉัตร[1*] วิเชียร อูปแก้ว[2] วารุณี อริยวิริยะนันท์[3] และวิรชัย โรยนรินทร์[4]
Jakkree Srinonchat[1*] Wichian Ooppakeaw[2] Warunee Ariyawiriyanan[3] and Wirachai Roynarin[4]

[1,2]ห้องปฏิบัติการวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 ม.1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
[3]ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 ม.1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
[4]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 ม.1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
[1,2]Signal Processing Research Laboratory, Department of Electronics and Telecommunication Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,Pathumthani, Thailand 12110
[3]Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand 12110
[4]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand 12110
* E-mail: jakkree_s@rmutt.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 025493420, เบอร์โทรสาร 025493588

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมีการนำมาใช้งานเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณการใช้แบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการควบคุมกระแสไฟฟ้าจึงมีความจำเป็น รวมถึงการนำไปใช้งานจริงในชุมชนก็ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยด้วยในงานวิจัยนี้จึงศึกษาหลักการออกแบบระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าแบบประหยัดของแหล่งพลังงานทดแทนร่วมสำหรับชุมชนโดยมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเป็นกังหันลมและเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสองแหล่งพลังงานมาควบคุมและส่งผ่านเข้าสู่วงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อชาร์จกระแสไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ซึ่งเป็นแหล่งเก็บพลังงานหลักของการนำไปใช้ประโยชน์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง สำหรับการควบคุมการชาร์จจะมีตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากแหล่งพลังงานสองแหล่งในเวลาเดียวกัน โดยการรักษาระดับกระแสไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ให้คงที่อยู่ที่ 20-30%ของขนาดแบตเตอรี่เพื่อช่วยให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้น

Abstract

The electricity, which generated from renewable energy, are recently and widely usedin many applications. Thus the requirement of using battery for storage electric energy is currently increased. The controller system is necessary to control the electric from the hybrid renewable energy and also the safety is a majority to design when it applies to the field work in community. This research aims to study the low cost electrical controller system of hybrid renewable energy designed for community. The wind turbine and solar cells are used to be the hybrid renewable energy to generate the electric. These electric is controlled and pass through the charger circuit to charge battery. Then the

electric energy is used for the lighting system. Microcontroller is used to be the processor for control the charger circuit which received the electric from hybrid renewable energy. The microcontroller is maintain the 20-30% level of electric in battery for protect the battery life.

คำหลัก: เซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ ไมโครคอนโทรลเลอร์

Keywords: Solar Cell Solar Charge Controller Microcontroller

1. บทนำ

ความท้าทายในการผลิตกระแสไฟฟ้าและการควบคุมการใช้งานพลังงานทางเลือกทดแทนมีความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมากเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเช่น ลม, แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV), พลังน้ำขนาดเล็ก(MH) ชีวมวลความร้อนใต้พิภพคลื่นทะเลและกระแสน้ำเป็นต้น พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานเหล่านี้ถูกนำไปใช้แบบระบบแบบสแตนด์อโลนบางอย่างเช่นเป็นแหล่งพลังงานสำหรับโทรคมนาคมระยะไกล เป็นต้น ทั้งนี้แหล่งเก็บพลังงานที่นิยมใช้คือแบตเตอรี่นั่นเอง โดยมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาดังนี้ [1]งานวิจัยนี้นำเสนอการควบคุมประสิทธิภาพแรงดันไฟฟ้าให้มีความสมดุลสำหรับสถานีการชาร์จ Bipolar-DC-Bus-Fed EV กับการชาร์จแบบเร็วThree-Level DC-DC ทำให้มีประสิทธิภาพ การทำงานที่ประสานกันได้ดีตามที่กำหนดไว้ [2] งานวิจัยนี้นำเสนอการควบคุมระบบตอบรับและข้อกำหนดสำหรับสถานีการชาร์จรถไฟฟ้า โดยพิจารณาจากเวลาในการใช้ และการให้บริการซึ่งจะจำกัดสถานที่ในการชาร์จ โดยบทความนี้นำเสนอวิธีการที่มีประสิทธิภาพโดยให้ผลกำไรเพิ่มขึ้น 30 %[3] งานวิจัยนี้นำเสนอ การชาร์จรถไฟฟ้าได้รวดเร็วบนพื้นฐาน CHAdeMO กับ Grid-support Function โดยผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามเป้าหมายใช้เวลา 16 นาที ในการชาร์จแบตเตอรี่ และวิธีการนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพิ่มเติมได้ [4] งานวิจัยนี้นำเสนอการชาร์จ EV จากการกระจายพลังงานแสงอาทิตย์ จากการสำรวจปัญหาที่เกิดขึ้น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีประโยชน์และเหมาะสมเพราะเป็นพลังงานจากธรรมชาติ โดยผลที่ได้ให้ความคุ้มค่าและประหยัด สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ [5] งานวิจัยนี้นำเสนอ การพัฒนาประสิทธิภาพและคุณสมบัติร่วมกับวิธี CERTS สำหรับสถานีชาร์จ EV โดยจะพัฒนาสถาปัตยกรรมที่มีร่วมกับ CERTS ผลการทดลองที่ได้ประสบความสำเร็จตามเป้าหมายและสามารถอำนวยความสะดวกได้ดียิ่งขึ้น

ในปัจจุบันการใช้แบตเตอรี่มีจำนวนมากแบตเตอรี่ได้ถูกนำมาใช้ในงานต่างๆมากมายอาทิ เช่น ใช้ในรถยนต์, ในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะออกแบบและควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่มาจากหลายแหล่งพลังงานหรือพลังงานทดแทนร่วม โดยเน้นที่พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ เอาท์พุทจากแหล่งพลังงานร่วมระบบการควบคุมจะต้องมีการประสานงานและการควบคุมที่จะตระหนักถึงผลประโยชน์สูงสุดของการใช้พลังงานดังนั้นเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพที่เหมาะสมและการควบคุมจึงมีความจำเป็นสำหรับการปรับขนาดและการจัดส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าไปยังแบตเตอรี่ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาหลักการออกแบบระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าแบบประหยัดของแหล่งพลังงานทดแทนร่วมสำหรับชุมชนโดยมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเป็นกังหันลมและเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ 2 โหมด 5Ah และ 10Ahโหมด 5Ah จะมีกระแสไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่คงที่อยู่ประมาณที่ 1A ผลการทดลองในโหมด 5Ah มีความคลาดเคลื่อนอยู่ไม่เกิน 0.22A และโหมด 10Ah จะมีกระแสไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่คงที่ประมาณที่ 2A ผลการทดลองในโหมด 10Ah มีการคลาดเคลื่อนอยู่ไม่เกิน 0.20A ในความคลาดเคลื่อนของทั้งสองโหมดการทำงาน มีสาเหตุจากวงจรวัดกระแสไฟฟ้ามีการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าคลาดเคลื่อน ทำให้ไมโครคอนโทลเลอร์นำค่าไป

เปรียบเทียบคลาดเคลื่อน จึงเกิดเป็นการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ไม่คงที่

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

2.เพื่อศึกษาหลักการทำงานวงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

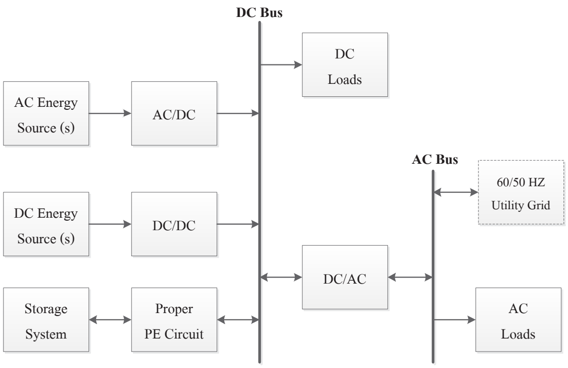
3. เพื่อประยุกต์ใช้งานวงจรชาร์จแบตเตอรี่และวงจรควบคุมเพื่อออกแบบระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าแบบประหยัดของแหล่งพลังงานทดแทนร่วมเพื่อชุมชน

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แหล่งจ่ายไฟ

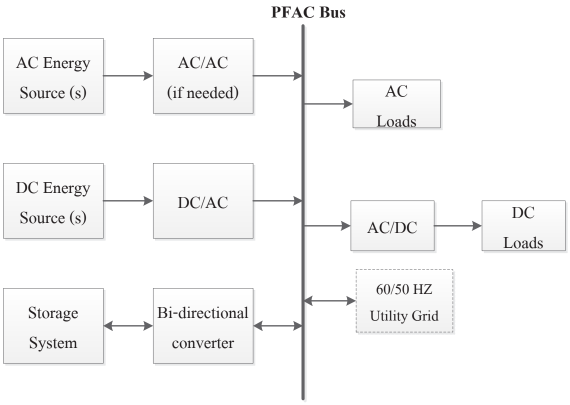
แหล่งจ่ายไฟ คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดไฟฟ้า หน้าที่หลักของแหล่งจ่ายไฟคือการแปลงรูปแบบหนึ่งของพลังงานไฟฟ้าไปยังอีกรูปแบบหนึ่งหรือให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าบางครั้งเรียกว่า แปลงพลังงานไฟฟ้า แหล่งจ่ายไฟทุกเครื่องจะต้องได้รับพลังงานที่เป็นอุปกรณ์ในการโหลดในขณะที่การปฏิบัติงานว่าจากแหล่งพลังงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบของแหล่งจ่ายไฟอาจจะได้รับพลังงานจากหลากหลายชนิดของแหล่งพลังงานรวมทั้งระบบส่งพลังงานไฟฟ้า

1. แบบ DC-Couple System

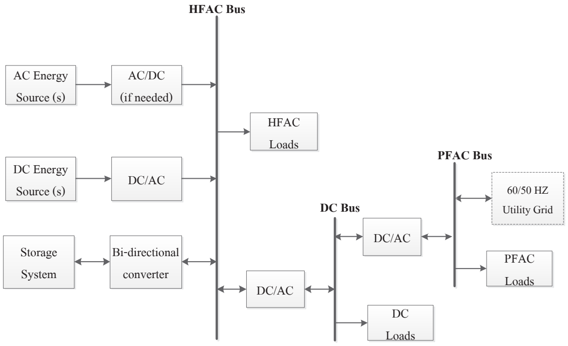


รูปที่ 1ระบบ DC-Couple System

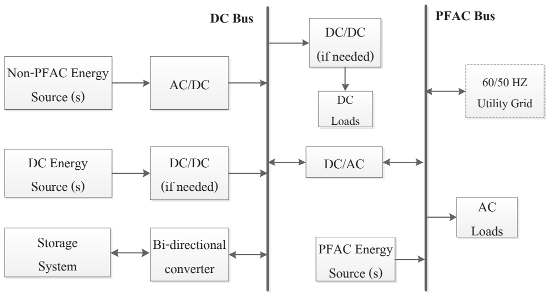
2. แบบAC-Couple System



รูปที่ 2ระบบ AC-Couple Systemแบบ PFAC



รูปที่ 3ระบบ AC-Couple Systemแบบ HFAC



รูปที่ 4 ระบบ Hybrid –coupled hybrid energy

แบตเตอรี่

แบตเตอรี่จะต่อกับเครื่องควบคุมการชาร์จซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันให้เหมาะสมไม่ให้สูงไปเพราะอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ ถ้าแบตเตอรี่มีแรงดันที่ต่ำ

มากกว่าค่าที่ตั้งไว้ในเครื่องควบคุมการชาร์จ เครื่องควบคุมการชาร์จจะปลดโหลดออกไปทันทีเพราะถ้าไม่ทำอย่างนี้แล้วประจุที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่จะถูกปล่อยไปจนหมด ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อแบตเตอรี่เพราะจะทำให้เซลล์ที่อยู่ข้างในไม่สามารถกลับมาชาร์จประจุได้อีก

ไอซีเบอร์ ACS712

สามารถใช้แรงดันไฟเลี้ยง VCC ในช่วง 4.5V ถึง 5.5V วัดกระแสได้ในสองทิศทาง (DC และ AC) และให้แรงดันเอาต์พุต VOUT แบบเชิงเส้น (linear) และมีไอซีในตระกูลนี้ให้เลือกใช้แตกต่างกันตามช่วงของการวัดกระแสและมีค่า output sensitivity ในช่วง 66 mV/A ถึง 185 mV/A

4. วิธีการวิจัย

วงจรชาร์จแบตเตอรี่

ทำหน้าที่ชาร์จไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่และคอยควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่

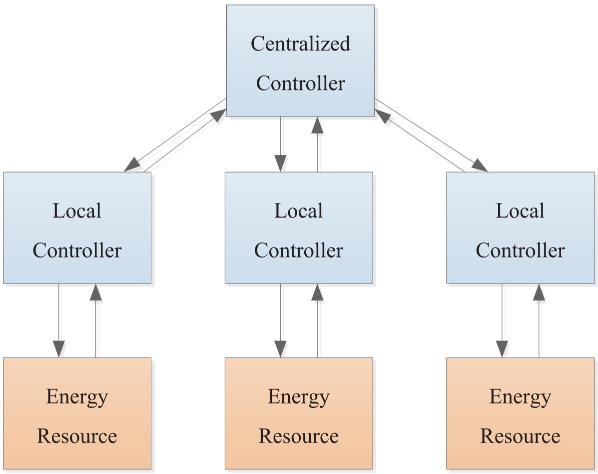
วงจรวัดกระแสไฟฟ้า

ทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้าในขณะชาร์จไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านวงจรวัดกระแสไฟฟ้า วงจรจะมีการปล่อยแรงดันไฟฟ้าไปเข้าไมโครคอนโทรเลอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปเปรียบเทียบเพื่อรักษาระดับกระแสไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่

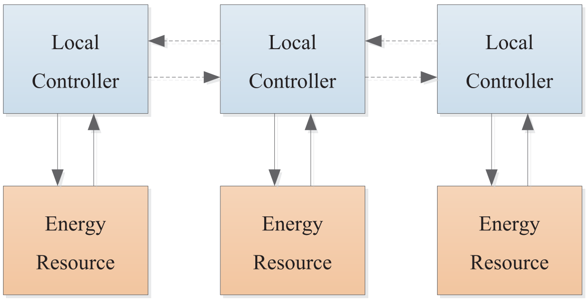
วงจรยกระดับแรงดันไฟฟ้า

ทำหน้าที่ยกระดับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 12V ยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรชาร์จแบตเตอรี่

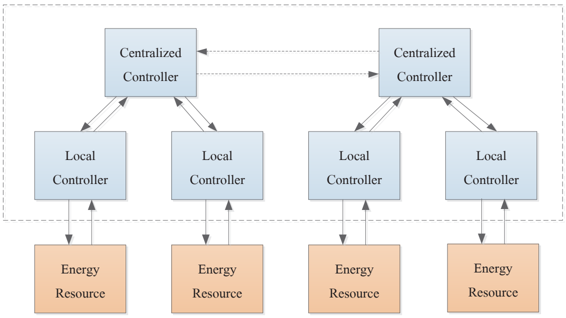
ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 5 Centralized control paradigm



รูปที่ 6 distributed control paradigm

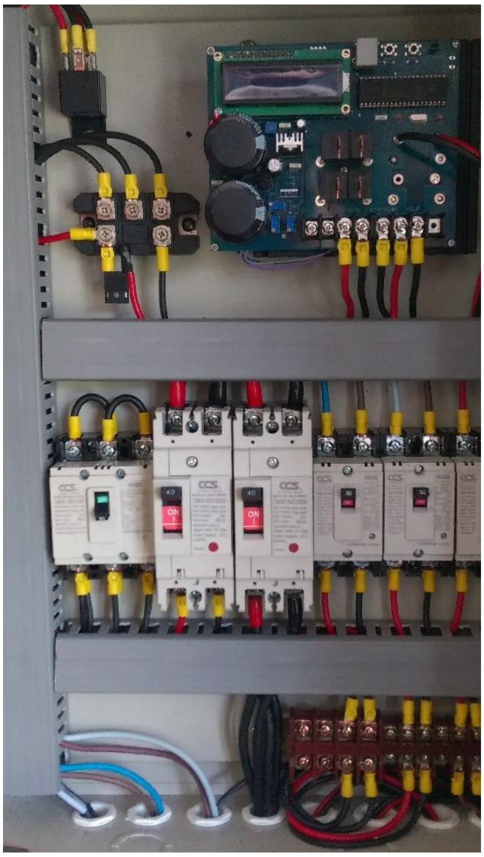


รูปที่ 7 Hybrid Centralized and distributed control paradigm

การติดตั้งและทดลองจริง

รูปที่ 8 การติดตั้งอุปกรณ์ตามที่ออกแบบ
ณ จังหวัดชุมพร

รูปที่ 9 อุปกรณ์เริ่มทำงาน

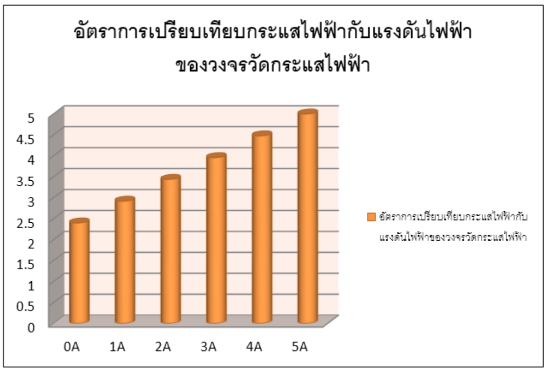


รูปที่ 10 วงจรควบคุมที่ใช้

รูปที่ 11แบตเตอรี่ที่ใช้

5. ผลการวิจัยและทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นระยะเริ่มต้นของการออกแบบและติดตั้งใช้งานจริง การทดสอบวงจรวัดกระแสไฟฟ้า เป็นการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ ให้อ่านค่าออกมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า เพื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้าไปเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ แล้วนำไปเปรียบเทียบเพื่อคอยควบคุมกระแสไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ให้มีค่าคงที่



รูปที่ 12 ผลการวัดกระแสไฟฟ้า

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาหลักการออกแบบระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าแบบประหยัดของแหล่งพลังงานทดแทนร่วมสำหรับชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเป็นกังหันลมและเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสองแหล่งพลังงานมาควบคุมและส่งผ่านเข้าสู่วงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อชาร์จกระแสไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ที่จังหวัดชุมพร จากการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ 2 โหมด 5Ah และ 10Ah โหมด 5Ah จะมีกระแสไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่คงที่อยู่ประมาณที่ 1A ผลการทดลองในโหมด 5Ah มีความคลาดเคลื่อนอยู่ไม่เกิน 0.22A และโหมด 10Ah จะมีกระแสไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่คงที่ประมาณที่ 2A ผลการทดลองในโหมด 10Ah มีการคลาดเคลื่อนอยู่ไม่เกิน 0.20A ในความคลาดเคลื่อนของทั้งสองโหมดการทำงาน มีสาเหตุจากวงจรวัดกระแสไฟฟ้ามีการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าคลาดเคลื่อน ทำให้ไมโครคอนโทลเลอร์นำค่าไปเปรียบเทียบคลาดเคลื่อน จึงเกิดเป็นการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ไม่คงที่ระดับกระแสไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ให้คงที่อยู่ที่ 20-30% ของขนาดแบตเตอรี่เพื่อช่วยให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลสัญญาณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนเครื่องมือในการทดสอบและขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย (NRPM:2559A16503029project code: 220213)

ค. เอกสารอ้างอิง

[1] Longcheng Tan and Sebastian Rivera (2016). Effective Voltage Balance Control for Bipolar-DC-Bus-Fed EV Charging Station with Three-Level DC–DC Fast Charger. **IEEE Transactions on Industrial Electronics.** (pp.4031-4041).

[2] Zhe Wei, Jianping He and Lin Cai (2016). Admission Control and Scheduling for EV Charging Station Considering Time-of-Use Pricing. **IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring).**

[3] P. Jampeethong and S. Khomfoi (2015). An EV Quick Charger Based on CHAdeMO Standard with Grid-support Function. **18th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS).** (pp.531-536).

[4] Ranil de Silva and Keith Fisk (2015). Charging Electric Vehicles from Distributed Solar Generation. **IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC).**

[5] Philip J. Hart, T.M. Jahns and R.H. Lasseter (2014). Performance Characteristics of a Hybrid CERTS Microgrid Electric Vehicle Charging

Station. **IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE).** (pp.3309-3316).

[6] Bo Sun,Tomislav Dragicevic, Fabio Andrade, Juan C. Vasquez and Josep M. Guerrero (2015). Provision of Flexible Load Control by Multi-Flywheel-Energy Storage System in Electrical Vehicle Charging Stations. **IEEE Power & Energy Society General Meeting**.

[7] Phoompat Jampeethong and Surin Khomfoi (2015). An EV Quick Charging Station Using a Pulse Frequency Current Control Technique.**12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics,Computer,Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON).**

[8] Yuko Ishii, Junji Kogure, Takayuki Shizuno and Noriyuki Itabashi (2012). Development of Battery and Charger Integration System (BCIS) for EV Charging Stations. **IEEE International Conference on Smart Grid Engineering (SGE)**. (pp.61-68).

ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของอาคารประหยัดพลังงานด้วยโฟมอีพีเอส

Thermal Resistance Efficiency of Energy Conservation Building By EPS Foam

ณัฐภัทร ลีรพันธุ์[1] Yeng Meng Han[2] Win Jet Luo[2] วรจิตต์ เศรษฐพรรค์[1] เวชสวรรค์ หล้ากาศ[1,3]
ชวิศจิตรวิจารณ์[1] พสุ ปราโมกข์ชน[1] พรรณิการ์ อุทธวัง[1] และ หทัยทิพย์ นิลสนธิ[1]

Natapat Leeraphan Yeng Meng Han Win Jet uo Worajit Setthapun Wechsawan Lakas
Chawit Chitwicharn Pasu Pramokchon Pannika Utthawang

[1]วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

[2]College of Engineering, National Chin-Yi University of Technology, Taiping Dist., Taichung 41170, Taiwan

[3]ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

*E-mail : hathaithip.nin@gmail.com, +6653-885-871

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพอาคารประหยัดพลังงานที่สร้างขึ้นด้วยโฟมอีพีเอส(EPS)ซึ่งโฟมมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นได้เป็นอย่างดี ทำให้การใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศภายในอาคารลดลงส่วนรูปแบบกำแพงที่ทำมุมเอียง 51 องศากับแนวพื้นดินเป็นการป้องกันการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง โดยการทดสอบนั้นได้ทำการตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิวผนังภายในและภายนอกอาคารทั้งสภาวะเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศ หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าความร้อนที่เข้าสู่อาคารเปรียบเทียบกับอาคารผนังอิฐทั่วไป จากผลการทดสอบจะเห็นว่าอาคารที่สร้างจากโฟม อีพีเอส มีประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนจากภายนอกได้ถึง 30 เท่าเมื่อเทียบกับอาคารผนังอิฐมอญทั่วไป

Abstract

The objective of this research is toevaluate thermal resistance efficiency ofenergy conservation building using expanded polystyrene foam (EPS foam) as a construction material. The EPS foam has highthermal resistant and moisture resistant properties. Therefore, it could reduce energy consumption of air conditioning system in the building. Moreover, angle between wall and ground of 51 degree could be useful for direct sun heat protection. For the experimental method, indoor and outdoor wall temperatures were measured in both with and without air-conditioning environment. After that, heat load of EPS building was calculated compared to traditional brick wall building. From the experimental results, it was found that EPS foam exhibited 30-fold in thermal resistance efficiency compared to traditional brick wall building.

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน, อาคารประหยัดพลังงาน, โฟมอีพีเอส

Keywords: Thermal Resistance Efficiency, Energy ConservationBuilding, EPS foam

1. บทนำ

แนวคิดของอาคารประหยัดพลังงานถูกออกแบบโดยใช้สภาพความลาดชันของภูมิประเทศ ร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่ การพัดผ่านของกระแสลมและมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์เพื่อทำให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิ(Thermal comfort) แล้วเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนโดยใช้โฟมอีพีเอส(Expanded polystyrene, EPS)ในการสร้างอาคารห้องประชุมบ้านนก เนื่องจากโฟมมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าผนังคอนกรีตทั่วไป [1] ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารมีค่าค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้โฟมอีพีเอส(EPS)มีน้ำหนักเบา แข็งแรง ไม่แตกร้าว เคลื่อนย้ายได้สะดวก ประหยัดต้นทุนและเวลาในการก่อสร้าง ทนต่อความชื้นและป้องกันการซึมของน้ำได้ดี ไม่ติดไฟและมีค่าการนำความร้อนต่ำ [1-6] อีกทั้งยังมีอากาศภายในสูงถึง 98 % [7] นอกจากนี้ผนังของอาคารประหยัดพลังงานทำมุมเอียง 51 องศากับแนวพื้นดินเมื่อเทียบกับผนังคอนกรีตแบบอาคารทั่วไปที่ทำมุม 90 องศากับแนวพื้นดิน ทำให้แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นดินก่อนสัมผัสกำแพงโดยตรง [8] ดังนั้นจึงเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ยิ่งไปกว่านั้นการออกแบบอาคารฯ แบบบ้านนก ทำให้แสงอาทิตย์กระจายแสงภายในอาคารในปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดของห้องประชุม

รูปที่ 1อาคารประหยัดพลังงาน ห้องประชุมบ้านนก ณ วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ผนังและหลังคาของอาคารห้องประชุมบ้านนกสร้างจากโฟม EPS ที่มีความหนาแน่น 40 kg/m3 (สั่งทำพิเศษ) โดยมีการเคลือบแผ่นฟิล์มบนผนังทั้งภายนอกและภายในอาคารฯเพื่อเพิ่มความต้านทานการนำความร้อน พร้อมทั้งผนังยังทำมุมเอียงกับพื้นดินเพื่อให้อาคารไม่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงและช่วยในการกระจายแสงจากธรรมชาติเข้าสู่อาคารห้องประชุมบ้านนก ส่วนภายในยังมีการออกแบบติดตั้งแผ่นฉนวนใยแก้วเพื่อเป็นวัสดุดูดซับเสียงลดค่าการสะท้อนเสียงให้อยู่ในช่วงมาตรฐานของคุณภาพเสียงในห้องประชุม

2. วิธีการวิจัย

2.1 การก่อสร้างอาคารหอประชุมบ้านนก

การก่อสร้างอาคารหอประชุมบ้านนก ใช้โครงสร้างเหล็กในแนวผนังเพื่อรับน้ำหนักจากหลังคา ส่วนวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังและหลังคาคือวัสดุโฟมแบบประกบคู่(Sandwich Foam Panel) ที่ประกอบด้วยโฟมอีพีเอส (EPS foam) และ เมทัลชีท (Metal Sheet)จึงสามารถประกอบติดตั้งง่ายและรวดเร็วการก่อสร้างผนังและโครงสร้างอาคารโดยใช้เครื่องจักรช่วยในการติดตั้งชิ้นส่วนหลังคาร่วมกับแรงงานคนในส่วนหน้าอาคาร ทำให้สามารถประหยัดระยะเวลาในการก่อสร้าง

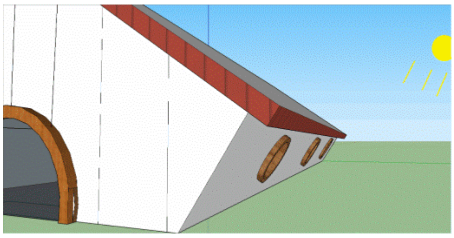
รูปที่ 2การเตรียมพื้นที่พื้นที่ก่อสร้างอาคารห้องประชุมบ้านนก

รูปที่ 3 การสร้างโครงเหล็กสำหรับอาคารห้องประชุมบ้านนก

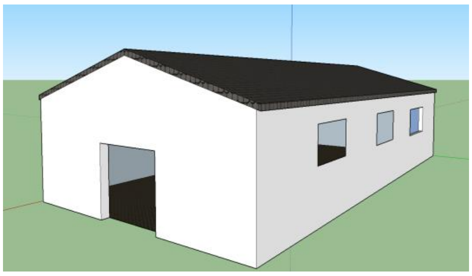
รูปที่ 4 การก่อสร้างผนังและหลังคาอาคารห้องประชุมบ้านนก

2.1 การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน

ในการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างอาคารห้องประชุมบ้านนกตามรูปที่ 5และอาคารรูปแบบทั่วไปตามรูปที่ 6 ให้มีขนาดความกว้าง ความยาวและความสูงเท่ากับ 11.50 32.05 และ 6.21 เมตรตามลำดับและกำหนดให้กำแพงหนา 25 เซนติเมตรโดยผนังของอาคารห้องประชุมบ้านนกทำมุมเอียง 51 องศากับแนวพื้นดิน ส่วนอาคารทั่วไปผนังยังคงทำมุมตั้งฉากกับแนวพื้นดิน



รูปที่ 5 อาคารห้องประชุมบ้านนก



รูปที่ 6 อาคารรูปแบบทั่วไป

อาคารห้องประชุมบ้านนกซึ่งทำจากโฟม EPS มีพื้นผิวทั้งหมดเป็น 744.16 ตารางเมตร โดยแบ่งพื้นผิวออกเป็น 2 ส่วนคือ พื้นผิวส่วนหลังคาเท่ากับ 575.50 ตารางเมตรและพื้นผิวส่วนผนังเท่ากับ 168.66 ตารางเมตร สำหรับอาคารรูปแบบทั่วไปซึ่งผนังก่อด้วยอิฐมอญพร้อมฉาบปูนทั้งสองด้าน หลังคาสร้างจากกระเบื้องคอนกรีต โดยอาคารมีพื้นผิวทั้งหมดเป็น 743.63 ตารางเมตร โดยพื้นผิวกระเบื้องหลังคามีค่าเท่ากับ 208.32 ตารางเมตรและพื้นผิวผนังอิฐมอญมีค่าเท่ากับ 535.30 ตารางเมตร

จากนั้น ทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat Load)ทั้งสองรูปแบบระหว่างอาคารห้องประชุมบ้านนกกับอาคารรูปแบบทั่วไป โดยคำนวณหาค่าภาระการแทรกผ่านความร้อนของอาคารทั้งสองรูปแบบตามสมการที่ (1)และ (2) [9-11]

$$Q_w = A \times \Delta T \times U \qquad (1)$$

กำหนดให้

Q_w คือ ค่าการแทรกผ่านความร้อน (W)

A คือ พื้นที่รับความร้อน (m2)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารฯ (°C)

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(W·m-2·°C-1)

$$U = k / D \qquad (2)$$

กำหนดให้

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่นำมาก่อสร้าง (W·m-1·°C-1)

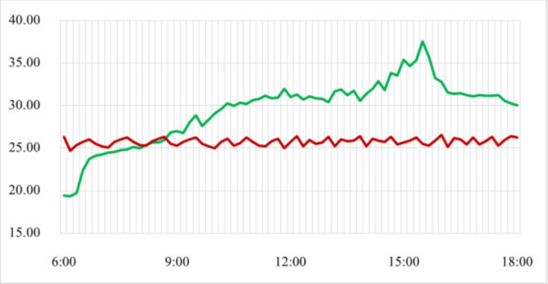
D คือ ความหนาของวัสดุที่นำมาก่อสร้าง (m) จากคุณสมบัติของโฟม ESP ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.023 W·m-1·°C-1[11] โดยที่ผนังอิฐมอญฉาบปูนสองหน้าทั่วๆไปมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 1.102 W·m-1·°C-1 [11] และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.993 W·m-1·°C-1[11]

การบันทึกค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆตามของอาคารห้องประชุมบ้านนก ซึ่งจะทำการบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 10 นาทีตั้งแต่เวลา 6.00 – 18.00 น.เป็นเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมงใน 1 วัน ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่ง (มุมทั้ง 4 ของอาคาร) ณ ช่วงเวลาต่างๆเพื่อใช้คำนวณหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งภายนอกและภายในอาคารฯ โดยการตรวจวัดอุณหภูมิจะถูกแบ่งออกเป็น 2 วันเนื่องจากอาคารที่ใช้ในการทดสอบ(อาคารห้องประชุมบ้านนก)มีเพียงอาคารเดียว โดยในวันที่ 1ตรวจวัดอุณหภูมิในสภาวะเปิดเครื่องปรับอากาศเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และในวันที่ 2ตรวจวัดอุณหภูมิในสภาวะไร้เครื่องปรับอากาศเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

3. ผลการวิจัย

หลังจากที่ได้ทำการตรวจวัดอุณหภูมิทั้งสี่มุมภายในอาคารห้องประชุมบ้านนก โดยแบ่งการตรวจวัดออกเป็นสองรูปแบบคือ ตรวจวัดอุณหภูมิภายในอาคารบ้านนกโดยเปิดเครื่องปรับอากาศทิ้งไว้และตรวจวัดอุณหภูมิภายในอาคารบ้านนก ที่ปราศจากเครื่องปรับอากาศจะพบว่าผลการตรวจวัดอุณหภูมิทุกๆ 10 นาที ตั้งแต่ 6.00 – 18.00 น.เป็นไปตามรูปที่ 7-9 ซึ่งแกนตั้งแสดงถึงค่าอุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)และแกนนอนแสดงถึงเวลาใดๆ โดยมีผลการทดลองดังนี้

เงื่อนไข เส้นสีแดง— เป็นอุณหภูมิภายในอาคารขณะเปิดเครื่องปรับอากาศ ส่วนเส้นสีเขียว —เป็นอุณหภูมิภายนอกอาคาร

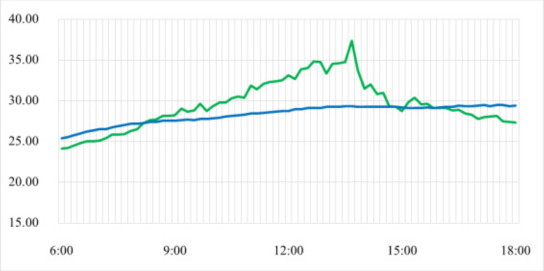


รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิภายในขณะเปิดเครื่องปรับอากาศและอุณหภูมิภายนอกอาคารห้องประชุมบ้านนก

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าเวลาประมาณ 15.30 น.อุณหภูมิภายนอกอาคาร มีค่าสูงถึง 37.53 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิภายในอาคาร นั้นยังคงมีค่าประมาณเดิม ถ้าหากเปรียบเทียบตามกราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิของอากาศนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตลอดเวลาให้ช่วงกลางวัน แต่อุณหภูมิภายในอาคารมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งวัน ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคาร เท่ากับ 25.75 องศาเซลเซียส

วันต่อมาทำการตรวจวัดอุณหภูมิภายในอาคารห้องประชุมบ้านนกโดยทำการปิดเครื่องปรับอากาศตลอดทั้งวัน โดยรูปที่8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารฯกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารฯ ณ ช่วงเวลาต่างๆ

เงื่อนไข เส้นสีน้ำเงิน— เป็นอุณหภูมิภายในอาคารขณะปิดเครื่องปรับอากาศ ส่วนเส้นสีเขียว —เป็นอุณหภูมิภายนอกอาคาร

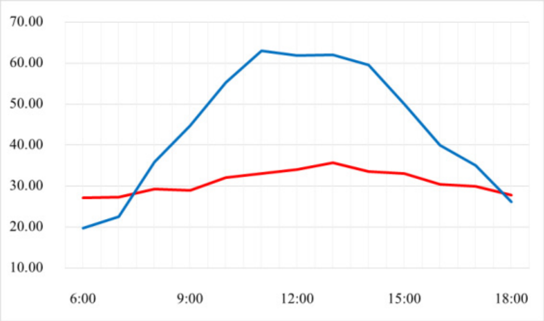


รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิภายในขณะปิดเครื่องปรับอากาศและอุณหภูมิภายนอกอาคารห้องประชุมบ้านนก

จากรูปที่ 8 จะเห็นว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่อุณหภูมิภายในอาคารนั้นกลับเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเวลา 14.00 น. จนถึง 18.00 น.อุณหภูมิของอากาศมีค่าลดลงค่อนข้างมาก เนื่องจากมีฝนตกในช่วงเวลานั้น แต่อุณหภูมิภายในอาคารฯยังคงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จึงสามารถสรุปได้ว่าอาคารที่ก่อสร้างด้วยโฟมอีพีเอสจะช่วยรักษาอุณหภูมิภายในอาคาร ให้มีค่าประมาณ 25.58 - 29.43 °C ซึ่งถือว่าเป็นช่วงอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมต่อความเป็นอยู่ในการดำรงชีวิต

นอกจากนี้เมื่อทำการตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิวของหลังคาอาคารห้องประชุมบ้านนกทั้งภายนอกและภายในพบว่าผลที่ตรวจวัดได้เป็นดังรูปที่ 9จากผลการตรวจวัดอุณหภูมิภายนอกและภายในพื้นผิวหลังคาของอาคารห้องประชุมบ้านนกที่ทำจากโฟมอีพีเอสเมื่อเวลา 11.00 น. มีความร้อนจากแสงอาทิตย์สูงที่สุดทำให้มีอุณหภูมิภายนอกสูงถึง 63.10 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิพื้นผิวหลังคาภายในอาคารมีค่าเพียง 33.00 องศาเซลเซียสเท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโฟมอีพีเอสนั้นช่วยป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี

เงื่อนไข เส้นสีแดง— เป็นอุณหภูมิพื้นผิวหลังคาของภายในอาคาร ส่วนเส้นสีเขียว —เป็นอุณหภูมิพื้นผิวหลังคาภายนอกอาคาร



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกพื้นผิวหลังคาของอาคารห้องประชุมบ้านนก

กำหนดให้ อุณหภูมิภายนอกและภายในของทั้งสองอาคารมีค่าเท่ากันดังตารางที่1

ตารางที่1อุณหภูมิภายนอกและภายในของพื้นผิวหลังคาและผนัง

พื้นผิว	อุณหภูมิ*(องศาเซลเซียส)	
	ภายนอก	ภายใน
หลังคา	63.10	35.70
ผนัง	37.50	26.50

*อุณหภูมิในตารางได้จากการตรวจวัดจริง

จากสมการที่ (1) สามารถคำนวณหาค่าการแทรกผ่านความร้อนภายในอาคารแต่ละรูปแบบได้ดังนี้

Qw(อาคารห้องประชุมบ้านนก) = (575.50 m2 × 27.4 °C × (0.023/0.25) W·m-2·°C-1) + (168.66 m2 × 11.00 °C × (0.023/0.25) W·m-2·°C-1) = 1,621.40 W

Qw(อาคารรูปแบบทั่วไป) = (208.32 m2 × 27.4 °C × (0.993/0.25) W·m-2·°C-1) + (535.30 m2 × 11.00 °C × (1.102/0.25) W·m-2·°C-1) = 48,627.68 W

จากการคำนวณสรุปได้ว่าการก่อสร้างอาคารด้วยโฟมอีพีเอส จะสามารถลดค่าความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้มากกว่าอาคารที่ก่อสร้างด้วยผนังอิฐมอญทั่วๆไปได้ 47,006.28 W เพราะว่าโฟมอีพีเอส นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าอิฐมอญและกระเบื้องคอนกรีตจะเห็นว่าอาคารที่สร้างจากโฟม อีพีเอส มีประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนจากภายนอกได้ถึง 30 เท่าเมื่อเทียบกับอาคารผนังอิฐมอญทั่วไป

4. สรุปผลการวิจัย

การก่อสร้างอาคารห้องประชุมบ้านนกด้วยโฟมอีพีเอสช่วยลดค่าการนำความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารฯได้ถึง 96 % เมื่อเทียบกับอาคารรูปแบบทั่วๆไป และยังช่วยรักษาอุณหภูมิความเย็นภายในอาคารให้มีค่าค่อนข้างคงที่ ตลอดจนผนังของอาคารห้องประชุมบ้านนกถูกออกแบบให้มีมุมเอียง 51 องศากับแนวพื้นดินทำให้ผนังของอาคารไม่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง ทำให้ประหยัดพลังงานด้านระบบปรับอากาศมากขึ้นนอกจากนี้อาคารโฟมอีพีเอส ยังมีประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนจากภายนอกได้ถึง 30 เท่าเมื่อเทียบกับอาคารผนังอิฐมอญทั่วไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณ วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชียมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนงบประมาณ และสถานที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Kuhn J., Ebert H.-P., Arduini-Schuster,M.C.Buttner, D. and Fricke, J. (1992). Thermal transport in polystyrene and polyurethane foam insulations Transport thermique dans les mousses isolantes de polystyrene et de polyurethane.International journal of heat and mass transfer35 (7) :1795-1801.

[2] Sayadi,A.A., Tapia,J.V., Neitzert,T.R. and Clifton,G. (2016) Effect of expand polystyrene (EPS) particles on fire resistance,thermal conductivity and compressive strength of foam concrete.Construction and Building Materials 112 : 716-724.

[3] Cronin,D.S. and Ouellet,S. (2016)Low density polyethylene, expanded polystyrene and expanded polypropylene: Strain rate and size effects on mechanical propertiesPolymer Testing53 :40-50.

[4] Hamdani-Devarennesa,S.,El Hagea, R.,Dumazerta, L., Sonniera, R., Ferrya L., Lopez-Cuestaa, J.-M., and Bertd, C. (2016). Water-based flame retardant coatiing using nano-boehmite for expanded polystyrene(EPS) foam. Progress in Organic Coatings 99 : 32-46.

Ning Liu, and Bing Chen. (2014). Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete. Construction and Building Materials68 : 227–232.

[5] Ivan Gnip, Sigitas Vėjelis, and Saulius Vaitkus. (2012). Thermal conductivity of expanded polystyrene (EPS) at 10 °C and its conversion to temperatures within interval from 0 to 50 °C. Energy and Buildings 52 : 107–111.

Shimizua, T., Matsuzakia, K., Nagaia, H., & Kanetakeb, N. (December 2012). Production of high porosity metal foams using EPS beads as space holders. Materials Science and Engineering: A 558 : 343–348.

[6] อัศวพิทยานนท์, น. (พ.ศ.2553).ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในอาคารจากการประยุกต์ใช้ผนังเอียงในเขตร้อนชื้น: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมืองมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Wanga, B., Huanga, Y., Lib, P., Sunb, P., Chena, Z., & Wua, J.

(December 2016). Optimization of variable density multilayer insulation for cryogenic application and experimental validation. Cryogenics80(1) : 154–163.

[7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2545). การเลือกใช้วัดสุอุปกรณ์ก่อสร้างที่มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน 10 ชนิด ในเอกสารแผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (หน้า 15-20)

[8] กระทรวงพลังงาน. (2552).ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552. (หน้า 21-39)

[9]

การศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้จากการใช้รถยนต์ของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์)

The investigation of carbon dioxide absorption of trees from the personal automobile at Pibulsorngkramrajabhat university (wangchan)

ชนิกา จำปา[1]*นพรัตน์ นิ่มแสง[1]ประภาพรรณ จันทร์พรม[1]ปรียานุช จันทร์เนย[1]
รัตนาภรณ์ มีสุข[1]วิลาวัลย์ อ้นเวียง[1]สาวิตรี สีทัดแอ[1] อรพรรณ ธนะขว้าง[1]ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1]
ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1]เฉลิมชัยสังโยคะ[1]ประพิธาริ์ธนารักษ์[2]และพิสิษฎ์ มณีโชติ[2]

Chanika Jumpa[1]* Nopparut Nimsaeng[1] Prapapun Junphom[1] Preyanut Junnoie Rattanaporn Mesuk[1] Wilawan Onviang[1] Savitree Setatae[1] Orrapun Thanakwang[1] Sakchai Petsuwan [1] Nattawut Khaosaad [1] Chalamchai Sangyoka [1] Prapita Thanarak [2] and Pisit Maneechot [2]

[1,*]คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก65000
โทร 0-5523-0597 โทรสาร 0-5523-0597 E-mail: Orrapun.t@gmail.com, nattawutkhao@gmail.com, sakchai@psru.ac.th
[2]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก65000
โทร 0-5596-3193 โทรสาร 0-5596-3182 E-mail: prapitat@nu.ac.th, pisitm@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นต้นไม้ที่มีความสูง150เซนติเมตรขึ้นไปมีขนาดเส้นรอบวง 1 4เซนติเมตรขึ้นไปและรถยนต์ของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยสำหรับเก็บข้อมูลของต้นไม้ได้แก่ตลับเมตรสายวัดและไคโนมิเตอร์หรือแอปพลิเคชั่นเอ็มไคโนเพื่อหาความสูงและขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้และคำนวณหาปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LMC ของโครงการเทศบาลไทยมุ่งสู่เมืองคาร์บอนต่ำเพื่อเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว 84 พรรษา สำหรับการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับรถยนต์ของบุคลากรผู้วิจัยใช้วิธีการสำรวจแล้วนำมาหาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออ กไซด์ของรถยนต์ด้วยการเทียบค่าออนไลน์จากผลการวิจัยพบว่าปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ได้รวมทั้งสิ้น 367 ตัน CO_2 เทียบเท่า/ปี และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากการใช้รถยนต์ของบุคลากรมีปริมาณ 4.14 ตัน CO_2 เทียบเท่า/ปี จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าจำนวนต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) มีปริมาณเพียงพอต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากการใช้รถยนต์ของบุคลากร

Abstract

This research presented the results of carbon dioxide absorption of the trees in PibulsongkramRajabhat University (Wangchan campus) which hight150 centimeters and circumference more than 14 centimeters, compared to the carbon dioxide emission of the staff car. Meter tape, tape, and clinometers or MClino application were applied to determine the high and circumference of trees. LMC calculation program of towards low carbon city municipal government to honor the king 84-anniversary project was applied to calculate the carbon absorption. Staff car carbon emissions were surveyed and calculated by the software. The results showed that total carbon dioxide absorption of trees was 367 tCO_2equivalent per year while emission from staff car was 4.14 tCO_2 equivalent per year. From the above data revealed that the trees in PibulsongkramRajabhat University (Wangchan campus) have a potential to absorb carbon dioxide which released from staff car.

คำหลัก: การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้, รถยนต์

Keywords: carbon dioxide adsorption of tree, personal automobile

1. บทนำ

จากการรายงานของIntergovernmental Panel on Climate Change(IPCC) ทำให้ทราบว่าปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้เกิดขึ้นมาระยะหนึ่งแล้วและยังมีแนวโน้มว่าจะมีความรุนแรงมากขึ้นในอนาคตโดยมีข้อมูลจากการรายงานของ IPCC พบว่าอุณหภูมิของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคตอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์จากข้อมูลการรายงานIPCC ฉบับที่ 4 (AR4) ที่ระบุว่าอุณหภูมิโลกในช่วง 100 ปี (ค.ศ.1906-ค.ศ.2005) เพิ่มขึ้น 0.74 °C และคาดการณ์ว่าในปีค.ศ. 2050 นั้นอุณหภูมิโลกโดยเฉลี่ยจะมีระดับเพิ่มขึ้น 1.1-1.7 °C และมีโอกาสเพิ่มขึ้นเป็น 1.1-6.4 °C ในช่วงปลายศตวรรษที่ 21 โดยการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ (Climate change) มีสาเหตุหลักมาจากการเพิ่มขึ้นของCO_2ซึ่งส่วนใหญ่แล้วล้วนเกิดจากการใช้พลังงานฟอสซิลได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของCO_2ในชั้นบรรยากาศกับอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกพบว่าการเพิ่มขึ้นของCO_2ในชั้นบรรยากาศโลกส่งผลให้ระดับอุณหภูมิของพื้นผิวโลกสูงขึ้นและได้มีการค้นพบที่สำคัญที่ระบุว่าก๊าซCO_2ที่เพิ่มขึ้นในชั้นบรรยากาศโดยแหล่งปล่อยที่สำคัญอันดับแรกคือจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลอันดับรองคือการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในรูปแบบต่างๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูญเสียพื้นที่ป่าเพื่อเป็นพื้นที่เกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรมCO_2เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณการเพิ่มขึ้นสูงกว่าบรรดาก๊าซเรือนกระจกอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดเจนและก็มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นอีกในปริมาณมหาศาลในอนาคตถ้าหากมนุษย์เราไม่หยุดการปล่อยก๊าซชนิดนี้ขึ้นสู่บรรยากาศของโลกโดยผ่านกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ที่อาศัยอยู่บนพื้นโลกประกอบกับการลดลงของแหล่งเก็บคาร์บอน (carbon sink) ที่สำคัญคือพื้นที่ป่าไม้ยิ่งทำให้เกิดการสะสมคาร์บอนในชั้นบรรยากาศมากขึ้น [1]ทั้งนี้เนื่องจากต้นไม้และป่าไม้มีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ก่อนที่จะลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศดังนั้นเมื่อพื้นที่ป่าลดน้อยลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงขึ้นไปสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศได้มากขึ้น[2]

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลที่ได้จากการรายงานของAR5 ที่ได้มีการระบุว่าเมื่อประเมินค่าเฉลี่ยของพื้นผิวโลกด้วยสมการแนวโน้มเชิงเส้นในช่วงระหว่างปีค.ศ. 2003-ค.ศ. 2012 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้น 0.78 °C
ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากผลการศึกษาของ[3]พบว่าในปีพ.ศ. 2555 (ค.ศ. 2012) ที่พบว่าประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมเท่ากับ 350.68 $MtCO_2e$ (ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) เมื่อพิจารณาปริมาณการดูดกลับในภาคเกษตรป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Agriculture Forestry and Other Land Use, AFOLU)เท่ากับ 122.95 $MtCO_2e$ ส่งผลให้ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเท่ากับ 227.73 $MtCO_2e$ โดยภาคพลังงานเป็นภาคที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 256.44 $MtCO_2e$ หรือเป็นคิดร้อยละ 73.13 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศรองลงมาคือภาคเกษตรป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 55.71 $MtCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 15.89 ได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของCO_2ในชั้นบรรยากาศกับอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกพบว่าการเพิ่มขึ้นของCO_2ในชั้นบรรยากาศโลกส่งผลให้ระดับอุณหภูมิของพื้นผิวโลกสูงขึ้น [1]

การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการใช้รถยนต์ของมนุษย์ก็เป็นสาเหตุหนึ่งของการเพิ่มก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศซึ่งนำไปสู่การเกิดภาวะโลกร้อนจากสถิติการจดทะเบียนรถใหม่ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน7คนทั่วประเทศในปีพ.ศ.2558 พบว่ามีจำนวนมากถึง107,231คนและมีรถยนต์สะสมทั่วประเทศถึง34,888,523คัน[4]และยังมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณรถสะสมในแต่ละปีที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามการเติบโตของเศรษฐกิจจากสถิตินี้สามารถคาดการณ์การใช้เชื้อเพลิงซึ่งนับว่าเป็นตัวการสำคัญในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศซึ่งก่อเกิดให้เกิดมลพิษทางอากาศและสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน

ป่าไม้มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเนื่องจากสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศโดยการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศมากักเก็บไว้ในส่วนต่างๆของต้นไม้การปลูกป่าจึงเป็นกิจกรรม

หนึ่งที่ได้มีการกำหนดให้สามารถดำเนินการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างไรก็ตามการเลือกพรรณไม้ที่ปลูกให้เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกก็นับเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากพรรณไม้แต่ละชนิดมีศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันและพรรณไม้ชนิดเดียวกันก็มีศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนที่แตกต่างกันเมื่อปลูกในพื้นที่แตกต่างกันโดยการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ดังนั้นปริมาณคาร์บอนสุทธิจากกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นไม้จึงเป็นปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในมวลชีวภาพของต้นไม้ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้ชนิดต่างๆ[5]

ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาในข้างต้นประกอบกับมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามเป็นมหาวิทยาลัยที่มีจำนวนนักศึกษาและบุคลากรที่ยังมีความจำเป็นในการใช้รถจักรยานยนต์และรถยนต์ในการเดินทางที่เพิ่มมากขึ้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการสำรวจและเก็บข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นต่อการใช้รถหนึ่งคันเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) กับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยจากการใช้รถยนต์ของบุคลากรภายในหน่วยงานอีกทั้งยังเป็นแนวทางในการวางแผนการใช้ยานพาหนะควบคู่ไปกับการมีส่วนร่วมในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเขตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามและส่งเสริมการอนุรักษ์พรรณไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามด้วย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1เพื่อศึกษาหาปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์)

2.2เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้กับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากการใช้รถของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์)

3.แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในสารประกอบเคมีที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดและมักเรียกด้วยสูตรเคมีCO_2เป็นแก๊สที่มีปริมาณมากเป็นอันดับ 4 ในอากาศการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ (Climate change) มีสาเหตุหลักมาจากการเพิ่มขึ้นของCO_2ซึ่งส่วนใหญ่แล้วล้วนเกิดจากการใช้พลังงานฟอสซิลอันดับรองคือการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในรูปแบบต่างๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูญเสียพื้นที่ป่าเพื่อเป็นพื้นที่เกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรมส่งผลให้เกิดการลดลงของแหล่งเก็บคาร์บอนและยิ่งทำให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนในชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น

ต้นไม้ (Trees)

ต้นไม้และป่าไม้มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเนื่องจากสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศโดยการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศมากักเก็บไว้ในส่วนต่างๆของต้นไม้การปลูกป่าจึงเป็นกิจกรรมหนึ่งที่ได้มีการกำหนดให้สามารถดำเนินการเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างไรก็ตามการเลือกพรรณไม้ที่ปลูกให้เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกก็นับเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากพรรณไม้แต่ละชนิดมีศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันและพรรณไม้ชนิดเดียวกันก็มีศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนที่แตกต่างกันเมื่อปลูกในพื้นที่แตกต่างกันโดยการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.2.1ศึกษารวบรวมข้อมูล

ศึกษาโครงการเกี่ยวกับการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการปลูกต้นไม้เพื่อสร้างพื้นที่สีเขียวซึ่งโครงการหลักที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินงานและโปรแกรมการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้นไม้ดูดซับได้คือโครงการเทศบาลไทยมุ่งสู่เมืองคาร์บอนต่ำเพื่อเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว 84 พรรษานอกจากนี้ยังมี

งานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องที่สามารถให้ข้อมูลและแนวทางในการทำวิจัยได้

4.2.2วางแผนการเก็บข้อมูล

เขียนแผนดำเนินงานเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและมีการลงพื้นที่เพื่อสำรวจอย่างคร่าวๆก่อนการสำรวจจริงโดยทำการสอบถามแม่บ้านเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้รถของบุคคลในหอพักว่ามีการเข้าออกเวลาใดเพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูลและทำให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนจากนั้นทำการประชุมเพื่อแบ่งเขตพื้นที่ในการสำรวจวิธีการเก็บข้อมูลและกำหนดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

4.2.3ลงพื้นที่เก็บข้อมูล

สำรวจต้นไม้ชนิดความสูงและเส้นรอบวงในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) โดยการสำรวจครั้งนี้ได้นำเอาแอปพลิเคชันเอ็มไคโนมาใช้ในการวัดเพื่อหาความสูงของต้นไม้ด้วยพบว่าค่าที่ได้ไม่มีความต่างกันกับการใช้ไคโนมิเตอร์ในการวัด

- สำรวจยี่ห้อรุ่นและขนาดรถยนต์ของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์)

- เก็บข้อมูลรถยนต์ของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) รวมถึงบุคคลที่พักในหอพักและเจ้าหน้าที่ศูนย์ศิลปวัฒนธรรมภาคเหนือตอนล่าง

4.2.4นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล

4.2.4.1คำนวณหาปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้[6]โดยคำนวณในโปรแกรมสำเร็จรูปLMC ของโครงการเทศบาลไทยมุ่งสู่เมืองคาร์บอนต่ำเพื่อเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว 84 พรรษา จากสูตรการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้

ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ ($kgCO_2$เทียบเท่า/ปี)

$$=\left[[0.0509 \times [\left(\frac{\text{เส้นรอบวง}}{3.14}\right)^2] \times \text{ความสูงของต้นไม้}\right]^{0.919}$$

$$=+ 0.00893 \times \left[(\frac{\text{เส้นรอบวง}}{3.14})^2 \times \text{ความสูงของต้นไม้}\right]^{0.977}$$

$$= \quad + 0.014 \times \left[(\frac{\text{เส้นรอบวง}}{3.14})^2 \times \text{ความสูงของต้นไม้}\right]^{0.669}\Bigg] \times 0.5] \times \frac{44}{12}$$

หมายเหตุ: เส้นรอบวง หน่วยเป็น เซนติเมตร

ความสูงของต้นไม้ หน่วยเป็น เมตร

4.2.4.2คำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถยนต์ [6]โดยนำรุ่นรถยนต์และขนาดเครื่องยนต์ไปเทียบค่าออนไลน์เมื่อได้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่รถยนต์แต่ละรุ่นปล่อยแล้วจากนั้นก็นำมาหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออก ($kgCO_2$ เทียบเท่า / ปี) สามารถคำนวณหาได้จากสูตร

$$\frac{\text{ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออก}\left(\frac{gCO_2\text{เทียบเท่า}}{\text{วัน}}\right) \times 261\text{วัน}}{1000}$$

หมายเหตุ:จำนวนวัน 261 วัน คือจำนวนวันทำงาน (ยึดตามปฏิทินปีพุทธศักราช 2558)

4.2.4.3ใช้สถิติบรรยายเพื่อเปรียบเทียบ

เพื่อให้เป็นรูปแบบของข้อมูลในเบื้องต้นให้สามารถตีความหมายของข้อมูลได้ตามความจริง จึงใช้สถิติบรรยายเพื่ออธิบายความหมายของข้อมูลในแต่ละกลุ่มก่อน แล้วจึงนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบ

ร้อยละ (Percentage)เป็นสถิติที่นิยมใช้มาก เป็นการเทียบความถี่หรือจำนวนที่ต้องการกับความถี่หรือจำนวนทั้งหมดที่เทียบเป็น 100 การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของร้อยละจะช่วยให้มีความหมาย สามารถเปรียบเทียบให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น สามารถหาร้อยละจากสมการนี้ [7]

$$P = \frac{f}{n} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ P คือ ร้อยละ

f คือ ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ

n คือ จำนวนความถี่ทั้งหมด

ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) หรือเรียกได้อีกหลายอย่าง

เช่น ตัวกลางเลขคณิต คะแนนเฉลี่ย คำนวณได้จากสมการ [7]

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N} \qquad (2)$$

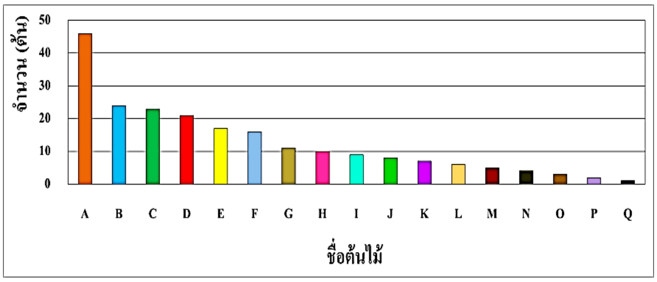
เมื่อ $\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม

N คือ จำนวนคะแนนในกลุ่ม

5. ผลการดำเนินการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์จำนวนต้นไม้แต่ละชนิดและปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) แสดงดังรูปที่1และตารางที่1ตามลำดับดังนี้



สัญลักษณ์	รายชื่อต้นไม้
A	ต้นปีบ
B	ต้นปาล์มขวด
C	ต้นสนประดิพัทธ์
D	ต้นประดู่
E	ต้นลีลาวดี ต้นพญาสัตบรรณ
F	ต้นข่อย ต้นอโศกอินเดีย
G	ต้นมะขาม
H	ต้นไทร ต้นนนทรี
I	ต้นหมาก ต้นมะฮอกกานี ต้นอินทนิล
J	ต้นมะม่วง
K	ต้นขี้เหล็ก ต้นชมพูพันธุ์ทิพย์ ต้นเหลืองสิรินธร
L	ต้นสนแผง
M	ต้นสารภี ต้นอโศก น้ำเต้าต้น
N	ต้นลำไย
O	ต้นขนุน ต้นจาน ต้นตะแบก ต้นนมแมว ต้นใบพัด ต้นหูกระจง ต้นเปิดน้ำ ต้นพยุง
P	ต้นกระท้อน ต้นแก้ว ต้นจันทร์ผา ต้นทองหลางลาย ต้นปาล์มหางกระรอก ต้นพิกุล ต้นหูกวาง ต้นมะกรูด ต้นมะยม ต้นราชพฤกษ์ ต้นลิ้นฟ้า ต้นวาสนา
Q	ต้นคริสติน่า ต้นจิก ต้นชมพู่ ต้นดอกโศก ต้นตาล ต้นนกยูง ต้นน้อยหน่า ต้นพะยอม ต้นเพกา ต้นโพธิ์ ต้นมะปราง ต้นโมก ต้นสะเดา

รูปที่1จำนวนต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) โดยจำแนกตามชนิดของต้นไม้

รายชื่อต้นไม้	ปริมาณการดูดซับ CO_2 เฉลี่ยต่อต้น	รายชื่อต้นไม้	ปริมาณการดูดซับ CO_2 เฉลี่ยต่อต้น
ต้นปีบ	490.42	ต้นข่อย	27.29
ต้นปาล์มขวด	1883.50	ต้นอโศกอินเดีย	795.51
ต้นสนประดิพัทธ์	364.08	ต้นมะขาม	857.33
ต้นประดู่	1825.93	ต้นไทร	237.91
ต้นลีลาวดี	8.00	ต้นนนทรี	8514.67
ต้นพญาสัตบรรณ	1106.52	ต้นหมาก	32.52
ต้นมะฮอกกานี	2257.35	ต้นพิกุล	3681.64
ต้นอินทนิล	26.43	ต้นหูกวาง	2782.12
ต้นมะม่วง	2404.19	ต้นมะกรูด	95.01
ต้นขี้เหล็ก	344.60	ต้นมะยม	184.79
ต้นสนแผง	133.76	ต้นราชพฤกษ์	2597.12
ต้นสารภี	210.83	ต้นลิ้นฟ้า	446.01
ต้นอโศก	974.20	ต้นวาสนา	97.90
น้ำเต้าต้น	16.25	ต้นคริสติน่า	18.15
ต้นลำไย	2638.43	ต้นจิก	259.63
ต้นขนุน	2016.86	ต้นชมพู่	970.76
ต้นจาน	271.49	ต้นดอกโศก	535.62
ต้นตะแบก	68.31	ต้นตาล	249
ต้นนมแมว	19.95	ต้นนกยูง	6654.59
ต้นใบพัด	341.10	ต้นน้อยหน่า	9.09
ต้นหูกระจง	25.34	ต้นพะยอม	66.38
ต้นเปิดน้ำ	16.09	ต้นเพกา	617.25
ต้นพยุง	32.09	ต้นโพธิ์	198.66
ต้นกระท้อน	4811.99	ต้นมะปราง	258.45
ต้นแก้ว	17.86	ต้นโมก	8.52
ต้นจันทร์ผา	152.44	ต้นสะเดา	25.44
ต้นทองหลางลาย	281.85	ต้นพิกุล	3681.64
ต้นปาล์มหางกระรอก	971.63	ต้นหูกวาง	2782.12

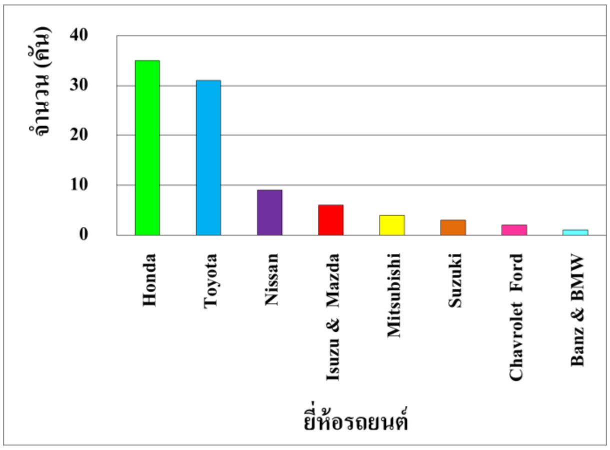
ตารางที่1ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้แต่ละ

ชนิดภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์)

จากรูปที่1แสดงให้เห็นว่าต้นไม้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) มีจำนวนทั้งหมด353ต้นสามารถจำแนกตามชนิดของต้นไม้ได้56ชนิดโดยต้นไม้ที่พบจำนวนมากที่สุดคือต้นปีบมีจำนวนทั้งหมด46ต้นซึ่งคิดเป็นร้อยละ 13.03และต้นไม้ที่มีจำนวนน้อยที่สุดคือต้นคริสติน่าต้นจิกต้นชมพู่ต้นดอกโศกต้นตาลต้นนกยูงต้นน้อยหน่าต้นพะยอมต้นเพกาต้นโพธิ์ต้นมะปรางต้นโมกและต้นสะเดาซึ่งต้นไม้แต่ละชนิดพบเพียงชนิดละ1ต้นเท่านั้นซึ่งคิดเป็นร้อยละ0.28

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) จากต้นไม้ที่ทำการศึกษาทั้งหมด 353ต้นมีปริมาณรวมเท่ากับ366.79tCO_2เทียบเท่า/ปีโดยมีค่ามัธยฐานเท่ากับ2.07 tCO_2เทียบเท่า/ปีซึ่งชนิดต้นไม้ที่สามารถดูดซับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากที่สุดคือต้นนนทรีซึ่งมีค่าเฉลี่ยในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ8.51 tCO_2เทียบเท่า/ปีรองลงมา คือ ต้นนกยูง มีค่าเฉลี่ยในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ6.65 tCO_2 เทียบเท่า/ปีส่วนต้นไม้ที่มีความสามารถในการดูดซับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยที่สุดคือต้นลีลาวดีโดยมีค่าเฉลี่ยในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ8.00 kgCO_2เทียบเท่า/ปี

5.2 ผลการวิเคราะห์จำนวนรถยนต์และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้รถยนต์ของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) แสดงดังรูปที่2และตารางที่ 2 ตามลำดับ ดังนี้



รูปที่2จำนวนรถยนต์ของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูล- สงคราม (ส่วนวังจันทน์)จำแนกตามชนิดของรถยนต์

ยี่ห้อรถยนต์	ปริมาณการดูดซับCO_2เฉลี่ยต่อคัน
Benz	41.50
BMW	32.89
Chavrolet	29.75
Ford	35.76
Suzuki	34.45
Mitsubishi	28.45
Isuzu	54.81
Mazda	47.50
Nissan	68.90
Toyota	49.66
Honda	26.88

ตารางที่ 2 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้รถยนต์แต่ละชนิดของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์)

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณรถยนต์ของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) จากทั้งหมด 100 คันเมื่อนำมาจำแนกตามยี่ห้อแล้วพบว่ามีทั้งหมด 11 ยี่ห้อโดยยี่ห้อของรถยนต์ที่พบจำนวนมากที่สุดคือHonda มีจำนวนทั้งหมด 35 คันคิดเป็นร้อยละ 35 และยี่ห้อของรถยนต์ที่พบจำนวนน้อยที่สุดคือBenz และBMW โดยแต่ละยี่ห้อจะพบเพียง 1 คันซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้รถยนต์ของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) มีปริมาณรวมเท่ากับ 4,136.59 kgCO_2เทียบเท่า/ปีโดยปริมาณเฉลี่ยของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้รถยนต์มีค่าเท่ากับ 41.37 kgCO_2เทียบเท่า/ปีซึ่งรถยนต์ที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดคือรถยนต์ยี่ห้อNissan รุ่น Navaraความจุของกระบอกสูบ 2,500 ซีซี. มีค่าเฉลี่ยปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 68.90 kgCO_2 เทียบเท่า/ปีส่วนรถยนต์ที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด (Min) คือรถยนต์ยี่ห้อHonda รุ่นBrio และBrio Amaze ความจุของกระบอกสูบ 1,200 ซีซี. มีค่าเฉลี่ยปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 26.88 kgCO_2เทียบเท่า/ปี

การคำนวณหาจำนวนต้นไม้ที่ควรปลูกต่อรถยนต์1คัน

ต้นไม้ที่ใช้ในการคำนวณจะมีความสูงมากกว่า150 เซนติเมตรและเส้นรอบวงระดับอกมากกว่า14เซนติเมตรทำให้ได้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขั้นต่ำที่ต้นไม้สามารถดูดซับได้มีค่าเท่ากับ2.81 kgCO2เทียบเท่า/ปีและค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่รถยนต์ปล่อยออกเท่ากับ 41.37 kgCO_2เทียบเท่า/ปีสามารถนำมาคำนวณหาจำนวนต้นไม้ที่ควรปลูกต่อรถยนต์1คันได้ดังนี้ [6]

$$\frac{\text{ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่รถยนต์ปล่อยออก}}{\text{ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขั้นต่ำที่ต้นไม้ดูดซับได้}} = \frac{41.37}{2.81}$$

$$= 14.72\text{ต้น} \approx 15\text{ต้น}$$

ดังนั้นเราควรปลูกต้นไม้จำนวน15 ต้นต่อรถยนต์1 คันเพื่อที่จะสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่รถยนต์ปล่อยออกมาได้อย่างเพียงพอแต่ต้นไม้จะต้องมีความสูงมากกว่า150 เซนติเมตรและมีเส้นรอบวงระดับอกมากกว่า 14 เซนติเมตร

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) พบว่าต้นไม้ที่สำรวจพบภายในบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) ที่มีความสูง 150 เซนติเมตรขึ้นไปและขนาดเส้นรอบวง14เซนติเมตรขึ้นไปมีจำนวนทั้งหมด353ต้นมีความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งสิ้น366,793.18 kgCO_2เทียบเท่า/ปี โดยต้นไม้ที่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในปริมาณมากที่สุดคือต้นประดู่จากการสำรวจพบว่าต้นประดู่ที่อยู่ในบริเวณข้างอาคารสาธิตเก่าซึ่งมีความสูง3,755เซนติเมตรและมีขนาดเส้นรอบวง285เซนติเมตรสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง14,275.042 kgCO_2เทียบเท่า/ปีส่วนต้นไม้ที่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยที่สุดคือต้นน้ำเต้าต้นซึ่งได้สำรวจพบบริเวณข้างบ้านพิบูลมีความสูง 220เซนติเมตรและมีขนาดเส้นรอบวง17เซนติเมตรสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้5.67 kgCO_2เทียบเท่า/ปี

จะเห็นได้ว่าจากการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้กับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้รถของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่ต้นไม้สามารถดูดซับได้คือ366,793.18 kgCO_2เทียบเท่า/ปีคิดเป็นร้อยละ98.88 ส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่รถยนต์ปล่อยออกมาคือ4,136.59 kgCO_2เทียบเท่า/ปีคิดเป็นร้อยละ1.12จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้นไม้สามารถดูดซับได้จากการใช้รถยนต์ของบุคลากรพบว่าปริมาณต้นไม้ที่มีอยู่ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) มีปริมาณเพียงพอต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากการใช้รถยนต์ของบุคลากร

7. อภิปรายผล

จากการศึกษาปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้พบว่าต้นไม้ที่มีอายุมากมีความสูงและเส้นรอบวงมากขึ้นจะสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในปริมาณมากซึ่งสอดคล้องกับบทความของ[8]ที่กล่าวไว้ว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับโดยต้นไม้นั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการเจริญเติบโตของต้นไม้ยิ่งต้นไม้ต้นใหญ่มากเท่าไรก็จะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากเท่านั้น

การใช้รถยนต์ของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูล-สงคราม (ส่วนวังจันทน์) มีแนวโน้มปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเนื่องจากจำนวนของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยเพิ่มมากขึ้นอีกทั้งค่ายรถยนต์ต่างๆก็มีการจัดโปรโมชั่นเพื่อกระตุ้นให้ประชาชนมีความต้องการในการใช้รถยนต์เพิ่มมากขึ้นประกอบกับผู้คนมักจะเลือกใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลในการเดินทางมากกว่ารถโดยสารประจำทางเนื่องจากมีความสะดวกมากกว่าซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ[9]ที่พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมลพิษภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่นมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเนื่องจากมีการเพิ่มจำนวนของนักศึกษาประกอบกับชุมชนที่อยู่ใกล้มหาวิทยาลัยขอนแก่นมีความหนาแน่นและความเจริญมากขึ้นซึ่งผู้คนส่วนใหญ่นิยมใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลในการเดินทางจึงได้มีการเสนอโครงการทางเลือกเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศขึ้น

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้รถยนต์ของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) พบว่ายี่ห้อและความจุของกระบอกสูบมีผลต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยส่วนมากรถยนต์ที่มีปริมาตรความจุของกระบอกสูบน้อยจะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่ารถยนต์ที่มีปริมาตรความจุของกระบอกสูบมาก

จากผลการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้กับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้รถยนต์ของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) พบว่าต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนวังจันทน์) มีปริมาณเพียงพอต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปคณะครุศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามและวิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำและข้อมูลสนับสนุนในการศึกษานี้ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1]กณิตา ธนเจริญชณภาส. (2558). **การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก:ผลกระทบและการตอบสนองของสรีรวิทยาระบบนิเวศ**. คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก : ร้านพิษณุโลก ดอท คอม. หน้า 18-28

[2]ปานทิพย์ อัฒนวานิช. (2554). **เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ(GE 410) เรื่องการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climatic Change)** [ออนไลน์] ได้จาก : http://e-book.ram.edu/e-book/inside/html/dlbook.asp?code=GE410.หน้า 131

[3]องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน). (2555).ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายสาขา ระหว่างปี พ.ศ. 2543-2555. หน้า 5

[4]กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2558). **สถิติการขนส่ง กุมภาพันธ์ 2558 กรมการขนส่งทางบก.**[ออนไลน์] ได้จาก :https://www.msociety.go.th/ewt_ news.php?nid=13569

[5]องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน). (2554). **คู่มือศักยภาพของพรรณไม้สำหรับส่งเสริมภายใต้โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้**. กรุงเทพฯ : คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.หน้า 3-37

[6] เทศบาลคาร์บอนต่ำต่ำ.(2558). **โปรแกรมLMC.**[ออนไลน์] ได้จาก :http://www.lcm.in.th/about-project.php

[7] บุญชม ศรีสะอาด. (2543). **การวิจัยเบื้องต้นฉบับปรับปรุงใหม่**.ภาควิชาพื้นฐานการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ มหาสารคาม :
มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ มหาสารคาม.

[8]มูลนิธิสืบ นาคะเสถียร. (2558). **ทำไมต้นไม้ใหญ่ถึงสำคัญ.** [ออนไลน์]ได้จาก:http://www.seub.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=1161:seubnews&catid=5:2009-10-07-10-5820&Itemid=14

[9]พงษ์พันธ์ แทนเกษม. (2553). **การศึกษาโครงการรถโดยสารประจำทางเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมลพิษทางอากาศภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น.**ขอนแก่น:คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

กลุ่มที่ 5 นวัตกรรมพลังงานทดแทน

การออกแบบชุดผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์สำหรับพื้นที่ภัยพิบัติ

A Design of a Solar Cell Generator Set for a Disaster Area

ภานุพล ปิ่นรารัยนนท์[1*] ผกามาส พันธุ์โภคา[2] จุฑามาศ เซี่ยงฉิน[3]

Phanuphol Pinrarainon[1*] Phakamat Phanphokha[2] Juthamas Siangchin[3]

[1,2,3]สถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง4 วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี 433 ถนน ศรีสุริยวงศ์ ตำบล หน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี 70000

Vocational Education Institute Central Region 4 Ratchaburi Technical Collage 433 Sisuriyawong Rd.A.Muang.Ratchburi 70000 Thailand

[*]Phanuphol1260@gmail.com 081-9135786

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสร้างชุดผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์สำหรับพื้นที่ภัยพิบัติ ที่ระบบไฟฟ้าหลักเสียหายจากภัยพิบัติจนไม่สามารถส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ตามปกติชุดผลิตไฟฟ้าที่สร้างขึ้นประกอบด้วย แผงโซลาร์เซลล์ ชนิด Polycrystalline 100 วัตต์ 17โวลท์ 5.88แอมแปร์ 1 แผงติดตั้งบนฐานพับเก็บได้Charger controller 12 โวลท์10 แอมแปร์ 1เครื่องInverter controller แบบ Pure Sine Wave ขนาด300 วัตต์. Input 12V.DC. Output 220 V. AC.1 เครื่องแบตเตอร์รี่สำหรับโซลาร์เซลล์ขนาด 100 Ah.12 V.1 ลูก และอุปกรณ์โหลด1 ชุดสามารถบรรทุกไปกับรถกู้ภัยขนาดเล็กเคลื่อนย้ายเข้าสู่พื้นที่ภัยพิบัติได้อย่างรวดเร็วให้การสนับสนุนไฟฟ้าได้อย่างจำกัด เฉพาะจุด เช่น ในเต็นท์อำนวยการของชุดกู้ภัย สามารถผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ ให้แสงสว่างในเวลากลางคืน ด้วยหลอด LED ขั้ว E27ขนาด 3วัตต์ เป็นเวลา 10ชั่วโมงต่อคืน หลอด LED ขั้ว E27 ขนาด 7 วัตต์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อคืนชาร์จแบตเตอร์รี่โทรศัพท์มือถือขนาด5วัตต์ ได้พร้อมกัน 4เครื่อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อวัน ชาร์จแบตเตอร์รี่วิทยุสื่อสารแบบพกพาขนาด 5 วัตต์ ได้พร้อมกัน 4เครื่อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อวันเป็นระยะเวลาติดต่อกัน 4 วันโดยไม่ต้องชาร์จประจุแบตเตอร์รี่

Abstract

This article presents the designing of a solar cell generator set for a disaster area where the main electrical system is damaged so badly that the electricity supply cannot be used. This set of electricity generator consists of a solar panel with Polycrystalline with 100 watt,17 volts and 5.88 amperes, an installation panel on a foldable base, a charger controller with 12 volts and 10 amperes, apure sine wave inverter controller with 300 watts, Input 12 V. DC and Output 220 V. AC, a battery for a solar cell with 100 Ah, 12 V., and a set of loads device, It can be loaded on a small rescue can to a disaster area quickly. It can provide electricity in particular points such as administrative tents. It can be generate 220 volts of alternating current, giving the night light with LED bulbs with E27 base,3 watts for 10 hours a night, and with LED bulbs with E27base, 7watts for 5 hours a night. It can be charged by 4 cellphon with 5 watt for one hour a day, and by 4 sets of a portable radio communication with 5 watts for one hour a day with 4 day continuous charge without battery charging

คำสำคัญ : โซล่าร์เซลล์, การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลแสงอาทิตย์

Keywords : Solarcell , Solar Cell Generator

1.บทนำ

ภัยพิบัติจากธรรมชาติเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา และเกิดขึ้นได้ในทุกๆพื้นที่ โดยที่เราไม่สามารถจะรู้ได้ล่วงหน้าจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในประเทศไทยเช่นภัยพิบัติจากพายุได้ฝุ่นเกย์ ภัยพิบัติ จากคลื่นยักษ์หรือจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในต่างประเทศเช่นภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศเฮติ ภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศเนปาล จากเหตุการณ์ที่กล่าวถึง ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นได้ทำลายล้างทุกๆอย่างที่อยู่ในพื้นที่นั้นๆ ไม่ว่าจะเป็นที่อยู่อาศัยของประชาชน เส้นทางคมนาคม ระบบไฟฟ้า ระบบติดต่อสื่อสาร ฯลฯ การที่จะซ่อมแซม หรือแก้ไขกู้ระบบต่างๆให้กลับงานได้ต้องใช้

เวลานานหลายวัน แต่การเข้ากู้ภัยช่วยเหลือประชาชนที่ติดตกค้างอยู่ในพื้นที่ภัยพิบัติ ทีมกู้ภัยต้องเข้าถึงพื้นที่ให้รวดเร็วที่สุด การช่วยเหลือกู้ภัยทำต่อเนื่อง และอาจใช้เวลาหลายวัน การให้แสงสว่างในเวลากลางคืน การใช้โทรศัพท์มือถือ หรือวิทยุติดต่อสื่อสารแบบพกพา จึงมีความจำเป็นอย่างมาก ในพื้นที่ภัยพิบัติซึ่งอุปกรณ์สื่อสารดังกล่าวมีความจำเป็นต้องชาร์จแบตเตอร์รี่ ดังนั้นการออกแบบสร้างชุดผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์สำหรับพื้นที่ภัยพิบัติ ที่มีขนาดเล็กสามารถบรรทุกไปกับรถกู้ภัยขนาดเล็กเคลื่อนย้ายเข้าสู่พื้นที่ภัยพิบัติได้อย่างรวดเร็ว การติดตั้งใช้งานง่าย ให้การสนับสนุนแสงสว่างในเวลากลางคืน หรือการชาร์จแบตเตอร์รี่ของอุปกรณ์สื่อสาร สามารถที่จะแก้ปัญหาในระดับเบื้องต้นในพื้นที่ภัยพิบัติได้

2.ระบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

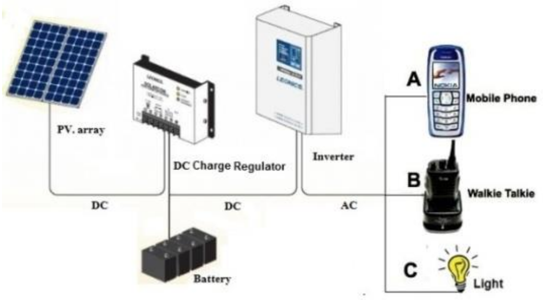
ระบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ มีหลากหลายต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ และสถานที่ติดตั้งของการใช้งาน ระบบที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกได้ 3 ระบบ[1] ดังนี้

1.ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบโดดเดี่ยว (PV. Stand Alone System)

2.ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าหลัก (PV. Gird Connected System)

3.ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม (PV. HybirdSystem)

สำหรับบทความที่นำเสนอนี้ เมื่อพิจารณาจากวัตถุประสงค์และสถานที่ติดตั้งใช้งานจึงเลือกใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบโดดเดี่ยว ระบบประกอบด้วย1.แผงโซลาร์เซลล์2.อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่3.แบตเตอร์รี่โซลาร์เซลล์4.เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 5.สายไฟฟ้าต่อเชื่อมวงจร 6.โหลดไฟฟ้าดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบโดดเดี่ยว

3.การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

การออกแบบและสร้างชุดทดลอง ใช้หลักการวิเคราะห์ถึงความจำเป็นความต้องการเร่งด่วน ของทีมกู้ภัย และ ระบบต้องมีความง่ายต่อการติดตั้ง ต่อการใช้งาน และ สามารถบรรทุกไปกับรถกู้ภัยขนาดเล็กเคลื่อนย้ายเข้าสู่พื้นที่ภัยพิบัติได้อย่างรวดเร็ว จึงมีหลักการออกแบบดังนี้

3.1.การกำหนดโหลดไฟฟ้าที่จำเป็นและชั่วโมงการใช้งาน

ตารางที่ .1 การวิเคราะห์โหลดไฟฟ้าที่จำเป็นและชั่วโมงการใช้งาน

ประเภทโหลด	จำนวนหลอด	แรงดัน (VAC.)	กำลังไฟฟ้า (W)	ชั่วโมงใช้งานต่อวัน	พลังงาน (Wh/d)
หลอด LED 3W.	1	220	4.65	10	46.5
หลอด LED 7W.	1	220	8.8	5	44.0
เครื่องชาร์จโทรศัพท์มือถือ	4 เครื่อง	220	26.4	1	26.4
เครื่องชาร์จวิทยุสื่อสารแบบพกพา	4 เครื่อง	220	26.4	1	26.4
		รวม	**68.22**	**17**	**143.3**
สัมประสิทธิการแปลงไฟ DCto AC เท่ากับ 0.85 [2] พลังงานที่ต้องใช้					**168.588**

3.2.การหา Ampere hour load[2]หาได้จากสมการที่1

$$Ah/d = \frac{Wh/\ d}{(\ Char \times Batt \times L \times V\ )} \qquad (1)$$

เมื่อ Ah /dคือ Ampere hour load หน่วย Ah / day

Wh/ d คือEnergy requirementหน่วย Wh/ day

Char คือChargeRegulator efficiency (decimal)

Battคือ Battery efficiency (decimal)

L คือ Line loss factor (decimal)

Vคือ Nominal system voltage หน่วย V.

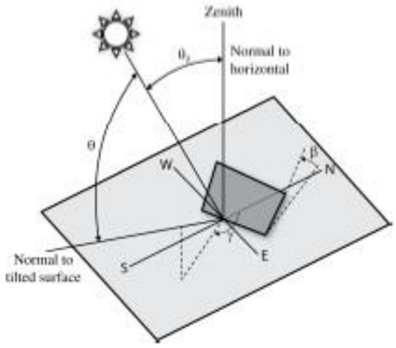
ดังนั้น

$$Ah/d \;=\frac{168.588}{(0.85 \text{ x } 0.85 \text{ x } 0.85 \text{ x } 0.95 \text{ x } 12\;)}$$

$$=\quad 20.468Ah/day$$

3.3 การหาขนาดแผงโซลาร์เซลล์และมุมองศาการติดตั้ง

3.3.1.ชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด[2-6](PeakSunHours:PSH) เป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการออกแบบขนาดแผงโซลาร์เซลล์ หาได้โดยการวัดรังสีของดวงอาทิตย์(Radiation)ที่ส่องมาตกลงบนพื้นโลกแบ่งออกได้ 2 ทิศทางคือ 1.รังสีตรง(Beam or Direct Radiation) คือรังสีที่มีลำแสงทิศโดยตรงจากดวงอาทิตย์ส่องมาตั้งฉากกับจุดรับแสงบนพื้นโลก 2.รังสีกระจาย (Diffuse Radiation)คือรังสีที่เกิดจากการสะทอนและกระจายจากก๊าซหรือฝุ่นละอองในอากาศรวมถึงวัตถุต่างๆและพื้นโลกแล้วส่องมายังจุดรับแสงบนพื้นโลก รังสีรวมทั้ง2ทิศทางเรียกว่า Global Radiation มุมติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ดังรูปที่ 3.1 ถ้าตำแหน่งมุมติดตั้งต่างกัน ค่าRadiationที่ได้ก็จะไม่เท่ากัน การหามุมติดตั้งแผงคำนวณได้จากสมการที่(2) – (4)



รูปที่3.1แสดงตำแหน่งมุมของการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

$$\sin\alpha = \cos\ \text{L}\cos\delta\cos + \sin \text{L} \sin\delta \qquad (2)$$

$$\delta \;= (\,23.45\,)\sin[360\,\frac{(284+n)}{365}] \qquad (3)$$

$$\omega \;= 15\,(\,12 - t\,) \qquad (4)$$

เมื่อ

δ คือ$Solar\ declinatio$

L คือ$Latitude$

ω คือ $Solar\ hour\ angle$

n คือ$The\ number\ of\ the\ yea$

t คือ $Time\ expressed\ in\ hour$

ค่าเฉลี่ย Radiationในประเทศไทย[5]ตามตารางที่ 2

ตารางที่ .2 Annual Mean average daily global radiation on inclined surfaces for Thailand

Province	Latitude (N^0)	Longitude (E^0)	Annual Mean
อุดรธานี	$17^0\ 13'$	$102^0\ 43'$	4.476
เลย	$17^0\ 27'$	$101^0\ 44'$	4.595
สกลนคร	$17^0\ 09'$	$104^0\ 08'$	4.858
นครพนม	$17^0\ 25'$	$104^0\ 47'$	4.583
ขอนแก่น	$16^0\ 27'$	$102^0\ 50'$	4.944
ร้อยเอ็ด	$16^0\ 03'$	$103^0\ 41'$	4.900
นครราชสีมา	$14^0\ 58'$	$102^0\ 05'$	4.860
สุรินท์	$14^0\ 53'$	$103^0\ 30'$	4.950
อุบลราชธานี	$15^0\ 15'$	$104^0\ 52'$	4.914
เชียงราย	$19^0\ 53'$	$99^0\ 50'$	4.789
เชียงใหม่	$18^0\ 47'$	$98^0\ 59'$	4.993
พิษณุโลก	$16^0\ 49'$	$100^0\ 16'$	4.941
นครสวรรค์	$15^0\ 40'$	$100^0\ 07'$	4.828
กรุงเทพฯ	$13^0\ 44'$	$100^0\ 30'$	4.756
จันทบุรี	$12^0\ 36'$	$102^0\ 07'$	4.562
ภูเก็ต	$07^0\ 53'$	$99^0\ 38'$	4.641
สงขลา	$07^0\ 14'$	$100^0\ 07'$	4.612
		Annual Mean	**4.776**

3.3.2หาขนาดกระแสไฟฟ้าต่ำสุดของ PV. [2]

แผงโซลาร์เซลล์แต่ละแผง จะมีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ แต่ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์จะผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาจะมีค่าเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่างเช่น ตำแหน่งที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ณ.เวลานั้น รวมถึงค่าอุณหภูมิรอบๆตำแหน่งที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์เปลี่ยนไป ดังนั้นการคำนวณหาขนาดกระแสไฟฟ้าต่ำสุดของแผงโซลาร์เซลล์จึงมีความจำเป็นและมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพื่อที่จะให้ระบบโซลาร์แซลล์ ที่คำนวณออกแบบไว้ สามารถชาร์จ

แบตเตอรี่ได้ทันตามระยะเวลาจำนวนวันที่ต้องการใช้งาน (days of autonomy) กระแสไฟฟ้าต่ำสุดของ PV.หาได้จากสมการที่(5)

$$PV\ Current = \frac{Ah/d}{(\text{ PSH x Mod })} \quad (5)$$

เมื่อ

PSHคือPeak sun hours at selected tilt angle หน่วย h/day

Modคือ Module degradation factor (decimal)

จากตารางที่ 2ค่าเฉลี่ย PSHในประเทศไทยเท่ากับ4.776 h/d

ดังนั้น

$$PV\ Current = \frac{20.468}{(\text{ 4.776 x 0.9})}$$
$$= \ 4.762\ A.$$

3.3.3การเลือกขนาดแผงโซลาร์เซลล์

จากการคำนวณออกแบบระบบที่ต้องการ แรงไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องการ 12 โวลท์ กระแสไฟฟ้าไม่น้อย 4.762 แอมแปร์จากตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ จึงเลือกใช้แผงชนิด Polycrystallineขนาด 100 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 17 โวลท์ กระแสไฟฟ้า 5.88 แอมแปร์

ตารางที่ 3 ตารางแสดงคุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์

Module Type	STP6-100P	STP6-110P	STP6-120P	STP6-130P	STP6-140P
Maximum Power-Pmax (Wp)	100	110	120	130	140
Voltage at Maximum Power-Vmp (V)	17	17.1	17.2	17.4	17.6
Current at Maximum Power -Imp (A)	5.88	6.43	6.98	7.47	7.96
Open Circuit Voltage-Voc (V)	20.8	21.4	21.8	22	22.3
Short Circuit Current-Isc (A)	7.36	7.48	7.65	8.09	8.33
Module Efficiency-ηm (%)	9.9	11.0	11.8	12.8	13.8
Power Tolerance (%)	0/+3	0/+3	0/+3	0/+3	0/+3
Operating Temperature	-40°C to +80°C				
Maximum System Voltage	715V DC				

3.4 การหาขนาดแบตเตอร์รี่ [2,3,7]

$$Q = \frac{Ah/d \text{ x Days}}{(\text{ \%DOD })} (6)$$

เมื่อ

Q คือ ความจุของแบตเตอร์รี่ (แอมแปร์- ชั่วโมง)

Daysคือจำนวนวันที่ต้องการใช้งานต่อเนื่อง(วัน)

%DODคือค่าสัมประสิทธิการคายประจุของแบตเตอร์รี่

$$Q = \frac{20.468\text{x } 4}{(\ 0.7)} = 116.96\text{ Ah.}$$

เลือกแบตเตอร์รี่ขนาด 100 Ah จำนวน 1 ลูก

3.5 การเลือกขนาด ชุดควบคุมการชาร์จแบตเตอร์รี่

จากข้อ 3.3.3 แผงโซลาร์เซลล์ที่เลือกใช้ มีขนาดแรงดัน 17 โวลท์ กระแสไฟฟ้า 5.88 แอมแปร์ ดังนั้นจึงเลือกชุดควบคุมการชาร์จแบตเตอร์รี่ขนาดพิกัด 12 โวลท์10 แอมแปร์

3.6การเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์[2,3,7]

จากตารางที่1การวิเคราะห์โหลดไฟฟ้าที่จำเป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต้องการ 68.22 วัตต์ ดังนั้น

อินเวอร์เตอร์ =68.22 x 1.25

= 85.275

เลือกใช้ขนาดไม่น้อยกว่า= 100 วัตต์

3.7ชุดผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ที่สร้างขึ้น

ชุดผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

1.แผงโซลาร์เซลล์ ชนิด Polycrystalline 100 วัตต์17โวลท์ 5.88 แอมแปร์ 1 แผงติดตั้งบนฐานพับเก็บได้

2. Charger controller 12 โวลท์10 แอมแปร์1เครื่อง

3. Puresinewave Inverter controller 300 W. Input 12 V. DC. Output 220 V. AC.1 เครื่อง

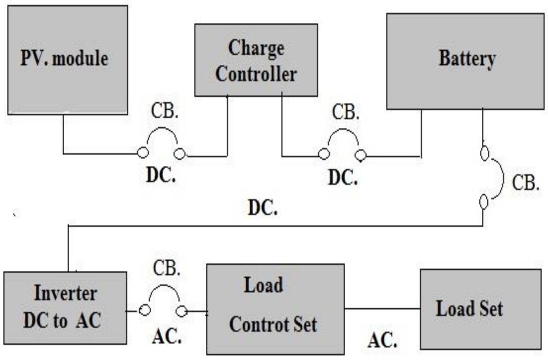
4.แบตเตอร์รี่สำหรับโซลาร์เซลล์ขนาด 100 Ah.12 V. 1 ลูก

5.ชุดจ่ายโหลดและป้องกันการใช้โหลดเกิน 1 ชุด

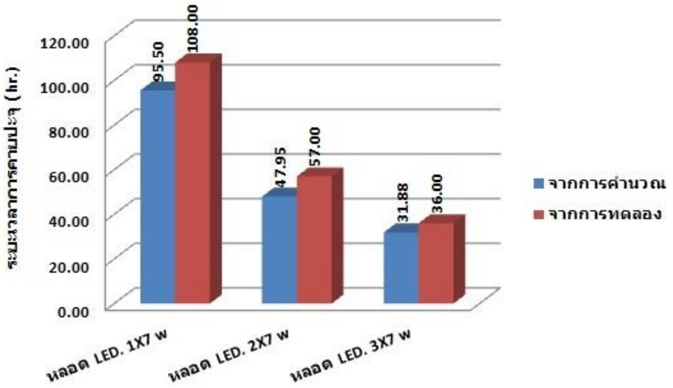
6.อุปกรณ์โหลด1 ชุด

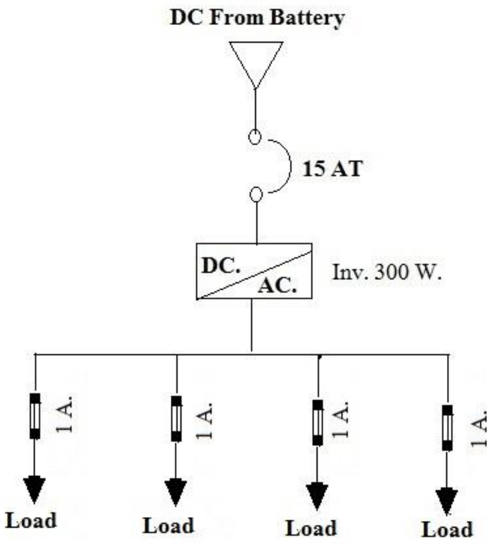
ดังรูปที่ 3.2,3.3และรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.2 ชุดผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.3 การต่อวงจรไฟฟ้าของระบบ





รูปที่ 3.4วงจรไฟฟ้าของชุดควบคุมโหลด

4.การทดลองและผลการทดลอง

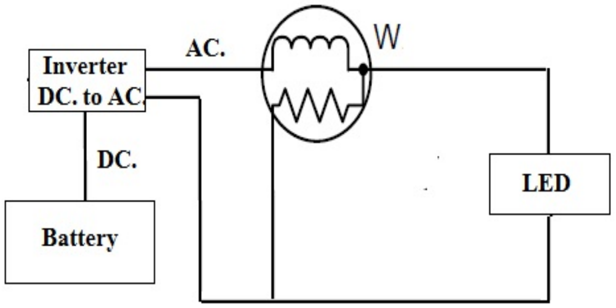
การทดลองแบ่งการทดลองออกเป็นสองขั้นตอนดังนี้

4.1การทดลองในห้องปฏิบัติ

เป็นการทดลองเพื่อหาระยะเวลาการคายประจุของแบตเตอร์รี่ด้วยวิธีการชาร์จประจุแบตเตอร์รี่ให้เต็มแล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด โดยการใช้หลอดไฟ LED.แบบขั้ว E27เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการคายประจุของแบตเตอร์รี่ที่ออกแบบไว้ โหลดการทดลองตามตารางที่ 4.1 วงจรการทดลองดังรูปที่ 4.1 และผลการทดลองดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 โหลดที่ใช้ทดลอง

หลอด LED (W)	1 x 7	2 x 7	3 x 7
กำลังไฟฟ้า (W)	8.8	17.6	26.4



รูปที่ 4.1 วงจรการทดสอบการคายประจุแบตเตอร์รี่

รูปที่ 4.2 กราฟการคายประจุของแบตเตอร์รี่

4.2 การทดลองในภาคสนาม

เป็นการทดลองการชาร์จประจุและคายประจุของแบตเตอร์รี่ด้วยวิธีการนำชุดผลิตไฟฟ้าที่สร้างขึ้น มาใช้งานจริงตามสภาพภูมิอากาศจริง โดยกำหนดให้ชุดผลิตไฟฟ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด หลอด LED.ขั้ว E27 ขนาด 7 W. จำนวน 2 หลอด ให้แสงสว่างในเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 19.00 – 05.00 น.เป็นระยะเวลา 30 วัน เริ่มตั้งแต่วันที่ 15 ก.ค.-15 ส.ค.59 เพื่อดูพฤติกรรมการชาร์จประจุและคายประจุของชุดผลิตไฟฟ้าที่สร้างขึ้น จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดแสงสว่างได้ต่อเนื่องตามสภาพภูมิอากาศจริงได้หรือไม่ ผลการทดลองในภาคสนาม ชุดผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ที่ออกแบบสร้างขึ้นสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดแสงสว่างได้อย่างต่อเนื่องตามสภาพภูมิอากาศจริงตลอดระยะเวลาของการทดลอง30 วัน

5.สรุปผลการทดลอง

การออกแบบสร้างชุดผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์สำหรับพื้นที่ภัยพิบัติ ประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ชุดผลิตไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้า สลับสนุนการทำงานของชุดกู้ภัยได้อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการใช้งานในพื้นที่ภัยพิบัติตามสภาพภูมิอากาศจริง สามารถให้แสงสว่างในเวลากลางคืนด้วยหลอด LED ขั้ว E27 และชาร์จอุปกรณ์สื่อสาร ประเภทโทรศัพท์มือถือ และวิทยุสื่อสารแบบพกพา และสามารถบรรทุกไปกับรถกู้ภัยขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายเข้าในพื้นที่ภัยพิบัติได้.

6. เอกสารอ้างอิง

[1].ธีรวัฒน์ ผูกสมัครและบุญยัง ปลั่งกลาง (2557) “การศึกษาคุณภาพไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก”งานประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล : 21 - 26

[2]สมชัยหิรัญวโรดม (2555) “ระบบโฟโตโวลตาอิกและการประยุกต์ใช้งาน”เอกสารประกอบการสอนระดับบัณฑิตศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[3] Luis Castaner and Santiago(2002)Silvestre ModellingphotovoltaicsystemusingPSpice/Castaner

[4]Tomas Markvart(1994).;SolarElectricity, 2 ed.

[5]สมชัยหิรัญวโรดม“SolarRadiation on SelecteProvinces ofThailand”เอกสารประกอบการสอน ระดับบัณฑิตศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 2555

[6]Vanek,Francis M. & Albright, Louis D. (2008)Energy systems engineering : evaluation and implementation.

[7] Wenham S.R., Green M.A., Watt M.E &Corkish R. (2007) Applied Photovoltaics 2 ed.

1.ว่าที่ ร้อยตรี ภานุพล ปิ่นรารัยนนท์ การศึกษา ค.อ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วศ.บ (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วศ.ม(วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีปัจจุบันดำรงค์ตำแหน่ง ครู

ชำนาญการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 4 วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี

2.นางสาว ผกามาส พันธุโภคา นักศึกษาระดับประกาศณียบัตรวิชาชีพชั้นสูงสาขาวิชาไฟฟ้ากำลังสถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 4 วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี

3.นางสาว จุฑามาศ เซี่ยงฉิน นักศึกษาระดับประกาศณียบัตวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้ากำลังสถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 4 วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี

การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์

A Design and Development of Solar Radiation Meter

เกษม ตรีภาค[1]*ชยันต์ สิงหาบุตร สุริยา[1] แซ่ย่างอนุชา[1]สุนันต๊ะ[1] และ นพพร พัชรประกิติ[2]

Kasem Treephak[1]*,Chayun Singhabut[1], Suriya Sayang[1],Anucha Sununta[1] And Nopporn Patcharaprakiti[2]

[1] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

200 หมู่ 17ตำบล พิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

[2] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

99หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology LannaLampang 200 Moo 17 MueangLampang district Lampang 52000

[1]Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology LannaChiangrai 99 Moo 10 Phan district Chiangrai 57120

*kasemtree@gmail.com, 054-342547

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ หรือ ไพรานอมิเตอร์ โดยการดำเนินงานเริ่มต้นจากการเลือกโฟโต้ไดโอดเป็นเซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ จากนั้นนำแรงดันที่วัดคร่อมตัวต้านทานที่ต่อขนานกับโฟโต้ไดโอด มาขยายแรงดันแล้วนำมาสอบเทียบกับไพรานอมิเตอร์ เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าของเครื่องวัดที่ออกแบบกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ แล้วนำสมการที่ได้มาเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เพื่อแปลงค่าแรงดันที่วัดได้จากหัววัดพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบจากโฟโต้ไดโอดเป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์และส่งออกไปแสดงผลยังจอ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 ชั้น ซึ่งผลการทดสอบวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบเทียบกับไพรานอมิเตอร์ พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยนำไปสอบเทียบกับไพรานอมิเตอร์ ยี่ห้อ KIPP & ZONEN รุ่น CMP3 แล้วมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.69 เปอร์เซ็นต์ ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.08 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 4.4 เปอร์เซ็นต์

Abstract

This paperproposes design and develops an instrument to measure the solar radiation or pyranometer. The propose pyranometer is initiated by select photodiode sensor to measure solar radiation and use shunt resistor connect to photodiode. Then voltage across the shunt resister is measured, amplified and compared with reference pyranometerto make correlation equation between voltage and solar radiation.The equation is programed in AVR microcontroller to convert voltage to solar radiation and show on 2 layer 16 label LCD. The solar radiation meter is calibratedby compare with pyranometer KIPP & ZONEN CMP3. The results of solar radiation solar radiation meter and reference meter have the average error 1.69%at standard deviation 1.08% and has the maximum error 4.4%

คำหลัก: พลังงานแสงอาทิตย์, ไพรานอมิเตอร์, โฟโต้ไดโอด, เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์

Keywords: Solar energy, Pyranometer , Photodiode, Solar radiation meter

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์ คือพลังงานที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเพราะเป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตาม ธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน และในปัจจุบันได้นำความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยใช้เทคโนโลยีและออกแบบเครื่องมือในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่ และเมื่อต้องการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้ได้ผลสัมฤทธิ์ที่สูงสุดจำเป็นจะต้องมีองค์ประกอบความรู้ด้านศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ต่างๆ ซึ่งการประเมินศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่หนึ่งสามารถทำได้โดยการจัดตั้งสถานีวัดความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ เพราะ พลังงานแสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ซึ่งนอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูการแล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่โดยแต่ละบริเวณได้รับปริมาณรังสีมากหรือน้อยจะแตกต่างกันออกไป เนื่องจากการวัดค่าปริมาณแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ผลสัมฤทธิ์ที่สูงสุดนั้นจะต้องใช้เวลานานในการวัด และ ต้องใช้เครื่องวัดที่ได้มาตรฐานที่วัดค่าแสงอาทิตย์ออกมาแล้วค่าที่ได้ต้องแม่นยำที่สุด เมื่อทราบว่าค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ในพื้นที่นั้นมีค่าเท่าใดก็จะสามารถคำนวณหาค่าการออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์ได้แต่เนื่องจากเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้มาตรฐานนั้นผลิตที่ต่างประเทศจะมีราคาสูง ทำให้การทดลองหรืองานวิจัยที่ต้องเกี่ยวข้องกับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ทำได้ยาก

จากปัญหาดังกล่าวทีมงานวิจัยจึงได้มีแนวคิดในการสร้างเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง โดยแยกหัววัดความเข้มแสงอาทิตย์กับจอแสดงผลที่อ่านค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรออกจากกันเพื่อให้สะดวกในการย้ายหัววัดและง่ายต่อการอ่านค่าโดยหัวอ่านใช้ โฟโต้ไดโอดชนิดซิลิกอนซึ่งมีคุณสมบัติในการรับแสงที่ใกล้เคียงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลและแสดงผลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ออกทางหน้าจอLCDโดยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นนั้นทีมงานวิจัยจะนำไปสอบเทียบกับเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์รุ่น CMP3 ของบริษัท KippandZonencmp3 ซึ่งได้มาตรฐานISO 9060 ในปี 1990 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ดีที่สุดให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงที่สุดและค่าผิดพลาดอยู่ในค่าที่สามารถยอมรับได้

2. วัตถุประสงค์

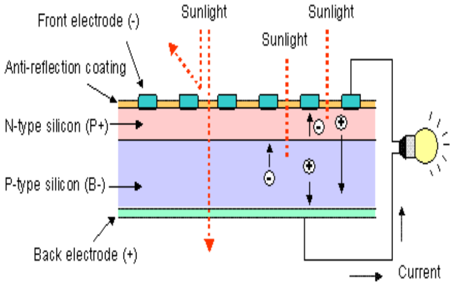
เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ ที่มีมาตรฐานใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ของบริษัท KIPP &ZONENรุ่น CMP3โดยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีใช้งานในปัจจุบันเป็นเครื่องมือที่สร้างจากต่างประเทศและมีราคาแพงไม่ว่าจะเป็นไพรานอมิเตอร์ หรือไพริออมิเตอร์ ดังนั้นจึงได้ศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบงานวิจัยเรื่อง การออกแบบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ด้วยโซลาร์เซลล์แบบพกพา โดย มรกต แสนกุล และ สมชาย กฤตพลวิวัฒน์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร นำเสนอวิธีการสร้างเครื่องวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยการนำเอาแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กต่อขนานกับตัวต้านทานที่เรียกว่าตัวต้านทานชันท์(Shunt Resister)แล้วนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานดังกล่าวมาขยายแรงดันไฟฟ้าจากนั้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ผลการทดสอบเทียบกับไพรานิมิเตอร์ของบริษัท Kipp&Zonen Model CM11 พบว่าเครื่องมือวัดที่สร้างมีค่าความผิดพลาด 1.1% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ นอกจากนั้นยังมีงานวิทยานิพนธ์เรื่องการประมาณการค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ทิศและมุมต่างด้วยวิธีสหสัมพันธ์และใช้เทคนิคการจำแนกท้องฟ้าแบบมิติสาทิศรูป สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา โดยสาคร จำปาอิ่ม ได้นำเสนอวิธีการออกแบบและสร้างหัววัดความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ โดยใช้โฟโต้ไดโอดต่อขนานกับค่าความต้านทาน แล้วทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่

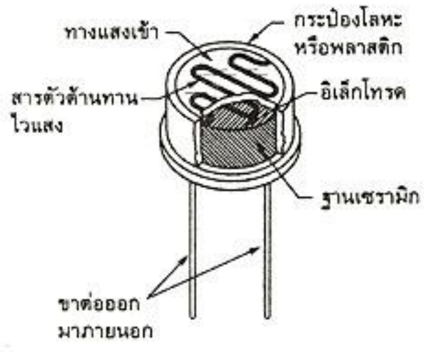
ตกคร่อมตัวต้านทาน จากนั้นนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่าความเข้มแสงอาทิตย์อีกครั้ง

จากการศึกษาข้อมูลของเซนเซอร์ที่จะนำมาใช้เป็นหัววัดความเข้มแสงอาทิตย์ 3 ชนิดได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ตัวต้านทานไวแสงหรือ LDR(Light Dependent Resister) และโฟโต้ไดโอด พบว่าเซนเซอร์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ คือสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้าและจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 1



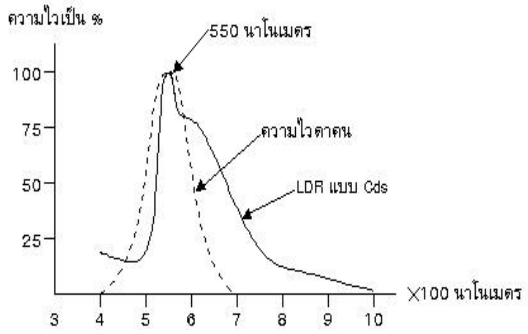
รูปที่ 1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

ข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ในการตรวจจับพลังงานแสงอาทิตย์ คือค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ แต่เซลล์แสงอาทิตย์มีข้อเสียที่สำคัญคือ มีราคาแพง เนื่องจากกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มีต้นทุนการผลิตสูงส่วนตัวต้านทานไวแสงหรือ LDR(Light Dependent Resister)นั้น เป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มของอุปกรณ์ประเภท Passive Transducerเนื่องจากค่าความต้านทานภายในของวัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์เซนเซอร์ชนิดนี้คือสารกึ่งตัวนำชนิดแคดเมียมซัลไฟล์ (Cadmium Sulfide ; CdS) หรือแคดเมียมซิลีไนด์(Cadmium Selenide ; CdSe) จะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง นั่นคือถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบลงบนตัว LDR จะทำให้ความต้านทานภายในของ LDR มีค่าสูง แต่ในขณะเดียวกันเมื่อมีแสงมาตกกระทบ ค่าความต้านทานภายในของ LDR ก็จะลดต่ำลงจนเกิดเป็นสภาพความนำไฟฟ้า (Conductivity) กล่าวโดยสรุปคือ ค่าความต้านทานภายในของ LDR จะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความเข้มของแสงสว่างที่ตกกระทบโครงสร้างของตัวต้านทานไวแสง แสดงดังรูปที่ 2



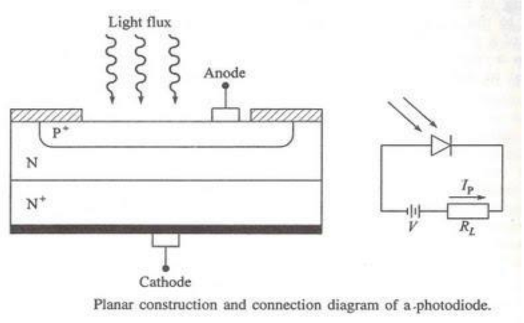
รูปที่ 2 โครงสร้างของตัวต้านทานตัวต้านทานไวแสงหรือ LDR(Light Dependent Resister)

ข้อดีของตัวต้านทานไวแสงนั้นคือมีราคาถูกและมีขนาดเล็ก แต่ตัวต้านทานไวแสงมีข้อเสียที่สำคัญคือมีผลการตอบสนองของแสงได้ดีในช่วงแคบ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์รับแสงอื่น ๆ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับพลังงานแสงอาทิตย์



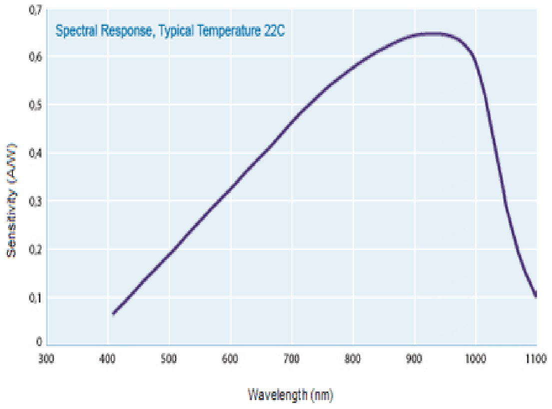
รูปที่ 3 กราฟการตอบสนองของ LDR ต่อความยาวคลื่นแสง

รูปที่ 3 พบว่าตัวต้านทานไวแสงจะตอบสนองของแสงได้ดีในช่วงของความยาวคลื่นแสงประมาณ 400 นาโนเมตร 700 นาโนเมตรเท่านั้น ส่วนโฟโต้ไดโอด นั้นเป็นอุปกรณ์ที่จัดอยู่ในกลุ่มของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภท Passive Transducer เหมือนตัวต้านทานไวแสงประกอบด้วยรอยต่อพี (P - Junction) และรอยต่อเอ็น (N – Junction) มีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกับไดโอดธรรมดาทั่วไป แต่การใช้งานโฟโต้ไดโอดนั้นจำเป็นจะต้องต่อวงจรในลักษณะไบอัสกลับ (Reverse Bias) เพื่อให้ช่วงของ Depletion Region กว้างมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดเชื่อมต่อน้อยมากในขณะที่ไม่มีแสงมาตกกระทบ และเมื่อมีแสงมาตกกระทบ Depletion Region ของ โฟโต้ไดโอดจะแคบลง กระแสที่ไหลผ่านจุดเชื่อมต่อจึงเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามกระแสที่เพิ่มขึ้นเกือบทั้งหมดจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบโครงสร้างของโฟโต้ไดโอดแสดงดังรูปที่ 4



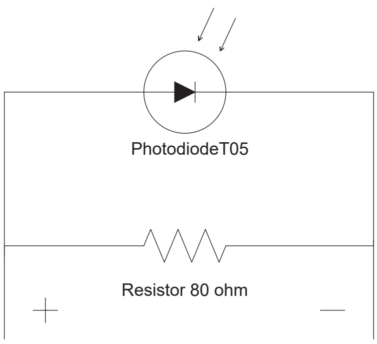
รูปที่ 4โครงสร้างของโฟโต้ไดโอด

รูปที่ 4 พบว่าโครงสร้างของโฟโต้ไดโอดจะเหมือนกับโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดผลึกซิลิกอน ซึ่งจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ ชนิดพีและเอ็น เช่นกัน ซึ่งข้อดีของโฟโต้ไดโอดก็คือกระแสที่เกิดขึ้นจากแสงที่ตกกระทบจะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ มีสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำ และมีการตอบสนองต่อแสงไว ส่วนข้อเสียของโฟโต้ไดโอดนั้นคือมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าต่อแสงมีช่วงการเปลี่ยนแปลงต่ำ ซึ่งในการนำไปใช้งานจริงนั้น สามารถแก้ไขได้โดยใช้วงจรขยายสัญญาณช่วยขยายสัญญาณให้มีขนาดเหมาะสมกับการต่อใช้งานในอุปกรณ์อื่น ๆ ได้



รูปที่ 5กราฟการตอบสนองของโฟโต้ไดโอดต่อความยาวคลื่นแสง

รูปที่ 5แสดงการตอบสนองของโฟโต้ไดโอดต่อความยาวคลื่นแสง ซึ่งจะพบว่าโฟโต้ไดโอดสามารถตอบสนองแสงอาทิตย์ได้ไวในช่วงของความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 นาโนเมตร ถึง 1,000 นาโนเมตร ซึ่งมากกว่าตัวต้านทานไวแสง จากข้อดีข้อเสียของอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด ทีมงานวิจัยเลือกใช้โฟโต้ไดโอดเป็นอุปกรณ์การวัดพลังงานแสงอาทิตย์ โดยนำมาต่อขนานกับ ตัวต้านทานขนาด 80 โอห์ม เพื่อวัดค่ากระแสหรือแรงดันที่ตัวต้านทานตัวนี้ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามพลังงานแสงอาทิตย์



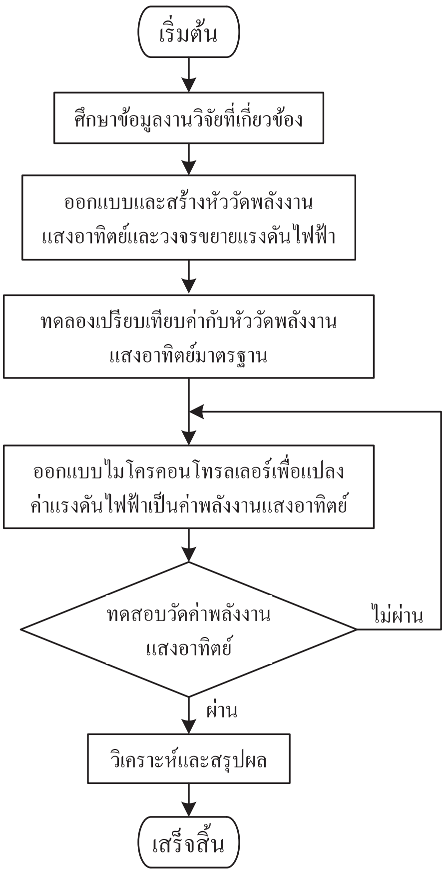
รูปที่ 6 การต่อใช้งานโฟโต้ไดโอด

จากรูปที่ 6 เมื่อโฟโต้ไดโอดได้รับแสงอาทิตย์ ที่ขั้วของโฟโต้ไดโอดจะเกิดกระแสไหล ดังนั้นเมื่อนำตัวต้านทานมาต่อขนาน กระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านตัวต้านทานครบวงจรได้ ซึ่งขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานจะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมา

กระทบที่โฟโต้ไดโอด ดังนั้นจึงสามารถนำปรากฏการณ์ดังกล่าวมาใช้ในการสร้างเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ได้

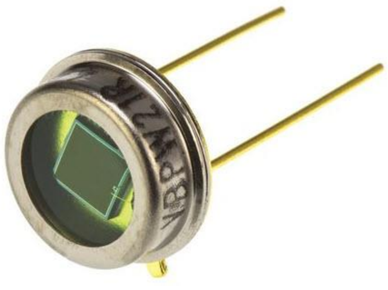
4. วิธีการวิจัย

งานวิจัยการออกแบบเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ นั้นมีขั้นตอนการดำเนินการดัง FlowChart รูปที่ 7



รูปที่ 7 Flowchart ขั้นตอนการดำเนินงาน

การวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้เป็นหัววัดความเข้มแสงอาทิตย์ พบว่ามีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแสงที่นิยมนำมาใช้งานเช่น โฟโต้คอนดักตีฟเซลล์ หรือที่เรียกว่า LDR (Light Dependent Resister), โฟโต้ไดโอด และโฟโต้ทรานซิสเตอร์ จากการศึกษาข้อมูลพบว่า โฟโต้ไดโอด จะสามารถตอบสนองความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้โฟโตไดโอดเป็นหัววัดความเข้มแสงอาทิตย์ โฟโต้ไดโอดที่ทีมงานวิจัยเลือก ได้แก่ Si PIN Photodiodes S1223 Series ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8Si PIN Photodiodes S1223 Series (TO-5)

โฟโต้ไดโอดจะถูกนำมาต่อขนานกับตัวต้านทานขนาด 80 โอห์ม แล้วจึงนำไปทดสอบโดยให้แสงตกกระทบที่ตัวโฟโต้ไดโอดจากนั้นวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรตามรูปที่ 6นั้น จะแปรผันกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรตามกฎของโอห์ม ผลการทดสอบพบว่า การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ตัวต้านทานแปรผันตรงกับพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 10 มิลลิโวลต์ จนถึง 80 มิลลิโวลต์ ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการขยายแรงดันไฟฟ้า ให้อยู่ในย่านที่สามารถนำไปใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ทีมงานวิจัยจึงได้ออกแบบวงจรขยายแรงดันโดยใช้ Insturment-Amplifier INA129 โดยต้องคำนวณอัตราการขยายแรงดันด้วยสมการที่ 1

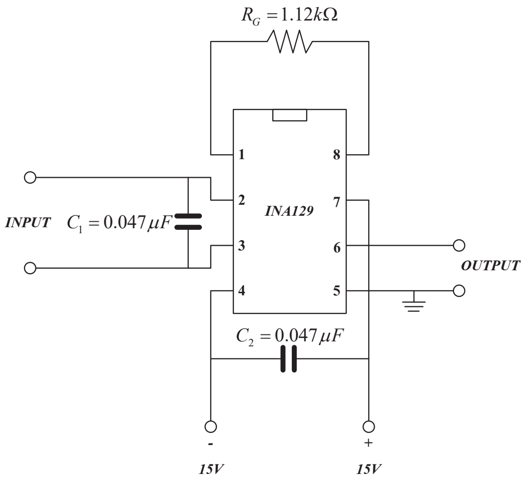
$$G = V_{out} / V_{in} \qquad (1)$$

สมการที่ 1 Gคืออัตราการขยายแรงดัน V_{out}คือพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการขยาย ให้มีค่าเท่ากับ 3.6 โวลต์ส่วน V_{in}คือ พิกัดแรงดันไฟฟ้าก่อนการขยาย มีค่าสูงสุดที่ 80 มิลลิโวลต์ ดังนั้นจะได้อัตราการขยายแรงดันเท่ากับ 45 จากนั้นนำอัตราการขยายแรงดันที่ได้คำนวณขนาดของตัวต้านทานที่ใช้ต่อในวงจรขยายแรงดันด้วย INA129 โดยสมการที่ 2

$$G = 1 + \frac{49.4k\Omega}{R_G} \qquad (2)$$

R_Gคือขนาดตัวต้านทานที่ต้องนำมาต่อในวงจรขยายแรงดันด้วย INA129 ซึ่งเมื่อใช้อัตราการขยายแรงดันที่ได้จากสมการที่ 1 เท่ากับ 45 มาแทนในสมการที่ 2 จะได้ค่า R_G

เท่ากับ 1.12 กิโลโอห์ม วงจรการต่อ Insturment-Amplifier INA129 แสดงดังรูปที่ 9

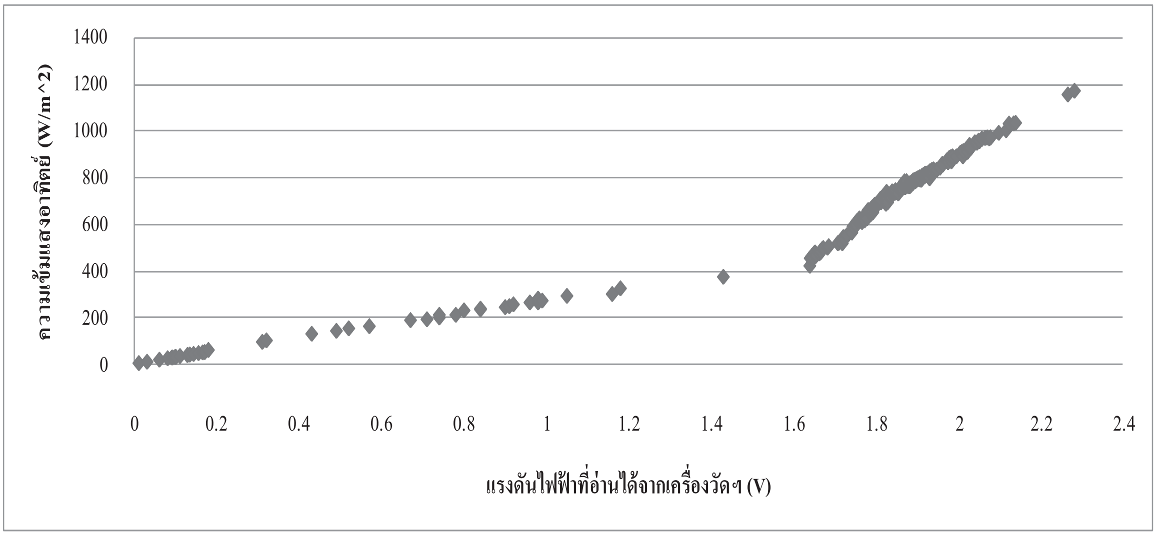


รูปที่ 9วงจรขยายแรงดันด้วย INA129

และเมื่อนำอินพุตต่อเข้ากับหัววัดแสงที่ใช้โฟโต้ไดโอดต่อขนานกับตัวต้านทานขนาด 80 โอห์ม ที่ออกแบบตามรูปที่ 6 จากนั้นนำไปทำการทดสอบวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์โดยเทียบกับไพรานอมิเตอร์ ยี่ห้อ KIPP&ZONEN รุ่น CMP3ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10ไพรานอมิเตอร์ ยี่ห้อ KIPP&ZONEN รุ่น CMP3

การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากหัววัดที่ออกแบบเทียบกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากไพรานอมิเตอร์ ทีมงานวิจัยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติที่เรียกว่า Data logger ยี่ห้อ WISCO รุ่น DL2200 โดยเขียนโปรแกรมให้บันทึกข้อมูล ตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งพระอาทิตย์ตกทุก 1 นาที เป็นเวลา 3 วัน ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เทียบกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่อ่านได้จากไพรานอมิเตอร์ แสดงดังกราฟรูปที่ 11



รูปที่ 11ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าจากหัววัดที่ออกแบบกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์

เมื่อพิจารณากราฟดังกล่าวแล้วพบว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองนั้นสามารถเขียนออกมาเป็นสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ 3

$$Y = mX + b \tag{3}$$

โดยในแต่ละช่วงของค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีค่าความชัน (m) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นทีมงานวิจัยจึงแบ่งช่วงของพลังงานแสงอาทิตย์ออกเป็น 4 ช่วง แล้วสร้างสมการเส้นตรงในแต่ละช่วงสรุปได้ดังตารางที่ 1

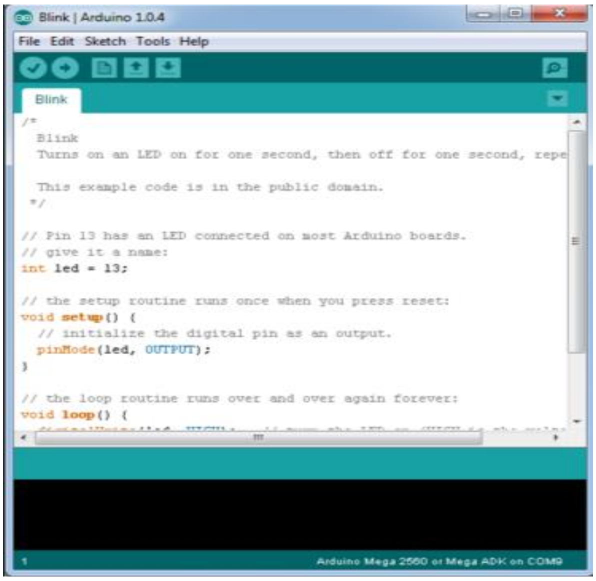
ตารางที่ 1 สมการเชิงเส้นจากกราฟรูปที่ 11

สมการความเข้มแสงฯ : Y(W/m^2)	แรงดันไฟฟ้าที่หัววัดฯ : X (V)
Y = 247.8X –+3.340	0.00 – 0.160
Y = 241.1X + 32	0.161 – 1.43
Y = 1333X -1734	1.431 – 1.911
Y = 1039X – 1184	1.912 – 2.283

ตัวแปร Y ค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีหน่วยเป็นหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) ส่วนตัวแปร X ได้แก่แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ที่หัววัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

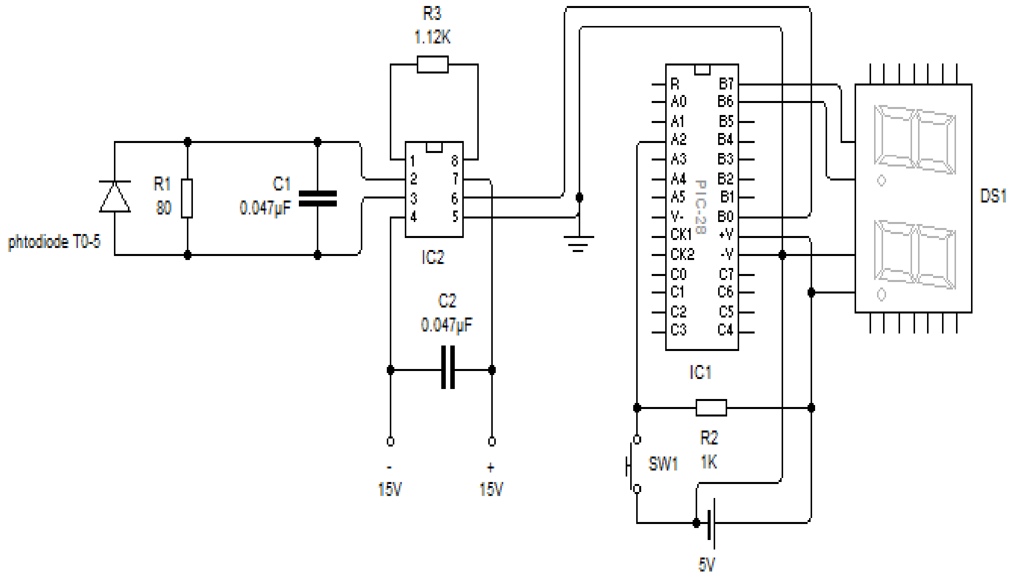
เมื่อได้สมการสำหรับใช้แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากหัววัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบเป็นหน่วยวัตต์ต่อตาราเมตรแล้ว ทีมงานวิจัยได้นำสมการดังกล่าวมาเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล AVRติดตั้งบนบอร์ด Auduinoรุ่น UNO R3 แสดงดังรูปที่ 12ส่วนการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของบอร์ด Auduinoรุ่น UNO R3 นั้นใช้ภาษา C++ เป็นรูปแบบภาษาหนึ่งที่รูปแบบโครงสร้างทางภาษาโดยรวม คล้ายกับภาษา C มาตรฐาน (ANCI-C) เพียงแต่มีการปรับปรุงเพื่อลดความยุ่งยากของการใช้งานลง เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกยิ่งกว่าเดิม ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้งานในบอร์ด Auduinoรุ่น UNO R3 แสดงดังรูปที่ 13

รูปที่ 12บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Auduinoรุ่น UNO R3



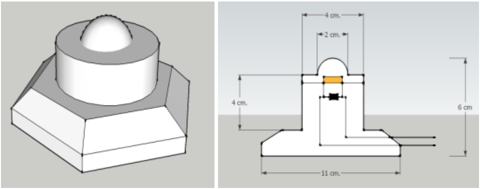
รูปที่ 13โปรแกรม C++ ที่ใช้เขียนคำสั่งติดต่อบอร์ด Auduinoรุ่น UNO R3

การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ เริ่มต้นโดยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากหัววัดความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งเกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ ส่องมากระทบกับโฟโต้ไดโอด แล้วทำการเปรียบเทียบช่วงของค่าแรงดันไฟฟ้าตามตารางที่ 1 แล้วจึงเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยใช้สมการความเข้มแสงอาทิตย์ของช่วงนั้น ๆ แล้วส่งค่าตัวเลขที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งเป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์แสดงผลออกทางจอ LCD ขนาด 16 อักษร 2 บรรทัด วงจรภายในของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 14



รูปที่ 14ไดอะแกรมของวงจรภายในเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจะมีส่วนประกอบ 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ได้แก่ส่วนการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีโฟโต้ไดโอดอยู่ภายในโดมครึ่งวงกลมดังรูปที่ 15 และส่วนที่ 2 คือส่วนที่รับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากส่วนที่ 1 เข้ามาแล้วแปลงเป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และแสดงผลออกทางจอ LCD ดังรูปที่ 16

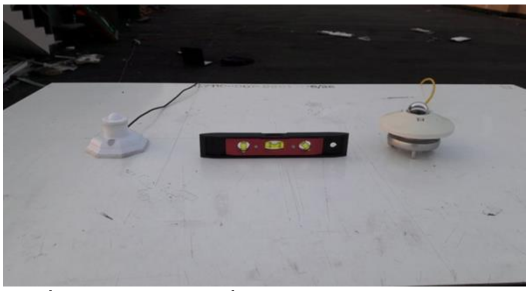


รูปที่ 15 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ส่วนที่ใช้สำหรับวัดรังสีของดวงอาทิตย์

รูปที่ 16 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ส่วนที่ใช้สำหรับแปลงค่าและแสดงผล

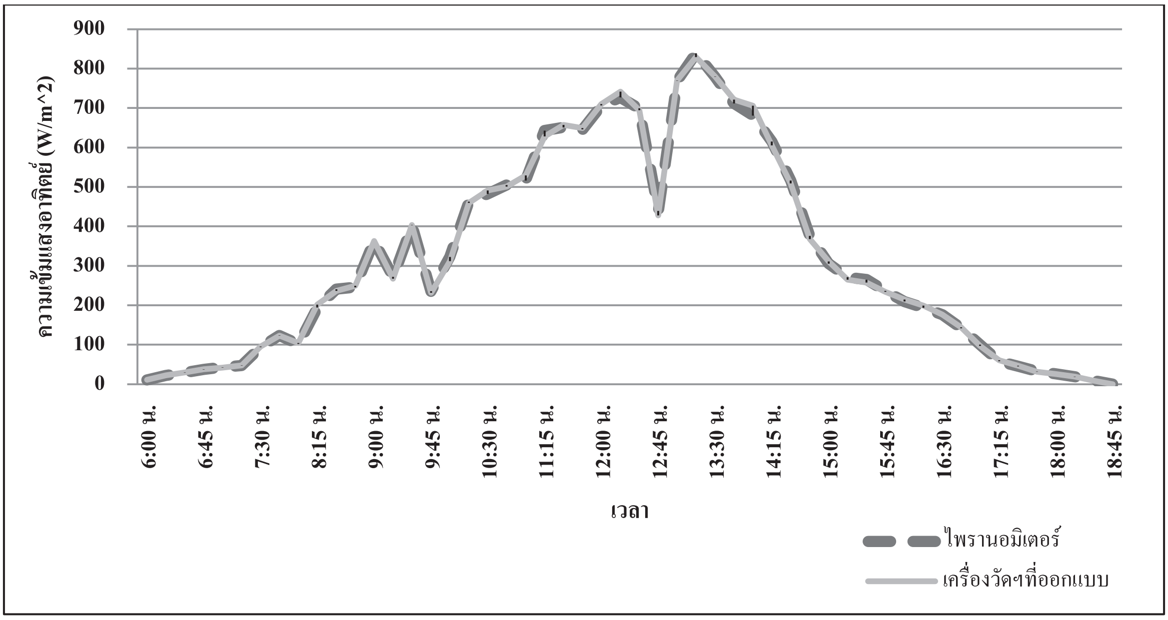
5. ผลการวิจัย

เมื่อสร้างเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์เสร็จสิ้นแล้ว เครื่องวัดได้ถูกนำไปทดสอบวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับเครื่องวัดไพรานอมิเตอร์ รุ่น CMP3 อีกครั้ง โดยทำการวัดค่าตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 19.00 น. โดยวัดทุก ๆ 15 นาทีดังรูปที่ 17



รูปที่ 17การทดสอบเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์กับไพรานอมิเตอร์ รุ่น CMP3

หัววัดแสงที่ออกแบบและหัววัดแสง CMP3 จะวางในระนาบเดียวกันขนานกับพื้น ดังรูปที่ 17 ซึ่งผลที่ได้จากการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบเทียบกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ CMP3 แสดงดังกราฟรูปที่ 18



รูปที่ 18กราฟเปรียบเทียบความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ CMP3 กับเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบ

จากกราฟรูปที่ 18พบว่าเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบนั้นวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้ต่ำสุดของวันที่เวลา 18.30 น. โดยมีความเข้มแสงอาทิตย์เท่ากับ 8.91 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์มากที่สุดคือเวลา 13.15 น. โดยวัดความเข้มแสงอาทิตย์ได้เท่ากับ 829.09 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งทั้งเวลาและค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ในเวลาเดียวกัน โดยไพรานอมิเตอร์สามารถวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำสุดได้เท่ากับ 9.11 วัตต์ต่อตารางเมตร และวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดได้เท่ากับ 839.08 วัตต์ต่อตารางเมตร

6. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดสอบเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับไพรานอมิเตอร์ ยี่ห้อ KIPP &HAZEN รุ่น CMP3 ที่แสดงในกราฟรูปที่ 18พบว่าเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบนั้นสามารถวัดความเข้มแสงอาทิตย์ได้ค่าใกล้เคียงกับไพรานอมิเตอร์ รุ่น CMP3 โดยมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบเท่ากับ 4.407 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 17.15 น. และมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่ากับ 0.017 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา16.30 น. อย่างไรก็ตามค่าความผิดพลาดในแต่ละจุดของการวัดเมื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยและพบว่ามีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.69 เปอร์เซ็นต์ ที่ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 1.08 เปอร์เซ็นต์เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ มรกต แสนกุล และ สมชาย กฤตพลวิวัฒน์ซึ่งใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กเป็นหัววัดความเข้มแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก พบว่าค่าความผิดพลาดของหัววัดที่ออกแบบนี้มีค่าความผิดพลาดมากกว่า 0.59 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตาม โฟโต้ไดโอดยังมีราคาที่ถูกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กอีกทั้งยังมีขนาดเล็กกว่าดังนั้นต้นทุนในการสร้างเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยโฟโต้ไดโอดจึงถูกว่า และตัวเครื่องวัดมีขนาดเล็กว่า

7. สรุป

งานวิจัยเรื่องการออกแบบเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์โดยใช้โฟโต้ไดโอด Si PIN Photodiodes S1223 Series(TO5) เป็นเซนเซอร์รับความเข้มแสงอาทิตย์และขยายแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานด้วย Insturment-Amplifier INA129จากนั้นนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขยายแล้วทดสอบเทียบกับไพรานอมิเตอร์ ยี่ห้อ KIPP & HAZEN รุ่น CMP3 ซึ่งอ่านค่าเป็นความเข้มแสงอาทิตย์ จากนั้นนำค่าที่

แรงดันไฟฟ้าและความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ซึ่งพบว่าสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้ โดยมีช่วงของความชันของกราฟที่แตกต่างกัน 4 ช่วง ซึ่งเมื่อเขียนสมการเส้นตรง จะได้สมการเส้นตรงทั้งหมด 4 สมการ แล้วนำสมการที่ได้ เขียนโปรแกรมให้แสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยรับค่าแรงดันไฟฟ้ามาประมวลผล จากนั้นส่งค่าเป็นความเข้มแสงอาทิตย์ออกทางจอLCD แล้วนำไปทำการทดสอบ โดยวัดเทียบกับไพรานอมิเตอร์ ยี่ห้อ KIPP & HAZEN รุ่น CMP3 อีกครั้ง พบว่า ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบนั้นมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มแสงอาทิตย์ที่อ่านได้จากไพรานอมิเตอร์ โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 52ครั้ง เท่ากับ 1.69 เปอร์เซ็นต์ ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.08 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัดทั้ง 52 ครั้ง พบว่า การวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลา 17.15 น. มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากที่สุดเท่ากับ 4.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ออกแบบนี้สามารถนำๆไปใช้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสอบเทียบกับไพรานอมิเตอร์ ยี่ห้อ KIPP & HAZEN รุ่น CMP3

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง และหน่วยวิจัยพลังงานสะอาด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทดลองและใช้งานเครื่องมือที่จำเป็นในการดำเนินการวิจัย ให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

ไชยวัฒน์ ทองช้อย. โฟโต้ไดโอด. **วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์**2549เล่มที่292:201-208.

มรกต แสนกุล,สมชาย กฤตพลวิวัฒน์**การออกแบบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ด้วยโซล่าร์เซลล์แบบพกพา**. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก; 2555.

สาคร จำปาอิ่ม**การประมาณการค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทิศและมุมต่างด้วยวิธีสหสัมพันธ์และใช้เทคนิคการจำแนกท้องฟ้าแบบมิติสาทิศรูป**วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ; 2557

สำนักถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน **คู่มือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยีพลังงานทดแทน**กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ไม่ระบุปีที่พิมพ์

Matinez, M.A., Andujar, J.M. and Enrique J.M.**A New and Inexpensive Pyranometer for the Visible Spectral Range**.Sensor 2009. 9, 4615-4634.

Medugu, D.W., Burari, F.W. and Abdulazeez, A.A. **Construction of a Reliable ModlePyranometer for Irradiance Measurements.** Africa Journal of biotechnology 2009. 9(12),1719-1725.

การวิเคราะห์เลือกสารทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับประเทศไทย

Analysis of Selection Working Fluid of Organic Rankine Cycle for Thailand

เยียย่าง วากายย่าง และ ณัฐพร ไชยญาติ*

Yiayang Wakaiyang and Nattaporn Chaiyat*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 ถ.เชียงใหม่-พร้าว ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

*Email: benz178tii@hotmail.com, + 66(0)882523088

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเลือกสารทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อทดแทนสารทำงาน R-254FA สำหรับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 kW_e ที่เกิดการรั่วซึม และไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย รวมทั้งมีราคาค่อนข้างสูงประมาณกิโลกรัมละ 1,000 บาท หากนำเข้าจากต่างประเทศ โดยงานวิจัยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการเลือกสารทำงานที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า สารทำงานที่มีจำหน่ายในประเทศไทยมีจำนวนประมาณ 22 ชนิด แต่มีเพียง 4 ชนิด ที่สามารถนำมาใช้กับแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง ร่วมกับของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ R-141B R-123 R-142B และ R-600A ซึ่งผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ พบว่า สารทำงานที่เหมาะสมในการทดแทน R-245FA ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ R-141B เพราะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สูงสุดประมาณ 8.03% เมื่อเทียบกับ R-123 R-142B และ R-600A

Abstract

This research studies selection working fluid of Organic Rankine cycle (ORC) for replacing R-245FA in the 20 kW_e ORC system. The main reasons are leakage, cost (1,000 baht/kg) and import problems. Mathematical model is used to choose the optimal working fluid in the 20 kW_e ORC system. From the study results, the total working fluids in Thailand are 22 kinds, but only 4 types could be used with high temperature heat source. Thus, R-141B R-123 R-142B and R-600A (Isobutane) are analyzed with mathematical model of the 20 kW_e ORC cycle. The results showed that R-141B could be shown the highest thermal performance of the ORC system at around 8.03% compared with R-123, R-142B and R-600A.

คำสำคัญ: สารทำงาน วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Keywords: Working fluid, Organic Rankine Cycle, Mathematical model

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานของประเทศไทยด้านพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิง โดยส่วนใหญ่ต้องพึ่งพาอาศัยเชื้อเพลิงฟอซซิลเป็นหลัก ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปและทำให้สภาวะโลกร้อน จากปัญหานี้ในการพัฒนาพลังงานในรูปแบบต่างๆ จึงมีความสนใจหันมาใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า แหล่งพลังงานทดแทนในประเทศไทยมีหลากหลายประเภท เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานจากความร้อนใต้พิภพ เชื้อเพลิงชีวภาพ พลังงานชีวมวล พลังงานจากขยะ เหล่านี้ล้วนแต่เป็นพลังงานทางเลือกที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย โดยเฉพาะแหล่งพลังงานความร้อนของประเทศไทยเป็นแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการพัฒนาการใช้แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำจึงเหมาะสมสำหรับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถใช้กับแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิต่ำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ Chaiyat [1] ศึกษาประเมินความเป็นไปได้การผลิตกระแสไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้พลังงานทางเลือก คือ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และขยะ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ได้ต่ำที่สุด สอดคล้องกับ Liu et al. [2] ที่นำพลังงานทดแทนจากความร้อนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม มาป้อนให้แก่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้สารทำงาน R-245FA และWang et al. [3] ศึกษาการใช้สารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยทำการจำลองสารทำงานทั้งหมด 25 ชนิด ผลการศึกษาพบว่า สารทำงานแต่ละชนิดมีสภาวะการทำงานที่เหมาะสมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแหล่งความร้อน และได้นำเสนอช่วงอุณหภูมิของแหล่งความร้อนที่ 106°C และสารทำงานที่เหมาะสมต่อการทำงานในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว คือ R-601

นอกจากนั้น Wang et.al [4] ศึกษาการเลือกสารทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยกังหันชนิดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw) ที่ใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์ ผลการศึกษาพบว่า สาร R-11, R-141B, R-113 และ R-123 มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงความร้อนสูงกว่าสารอื่นๆ แต่สาร R-245FA และ R-245CA เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และสอดคล้องกับ Habibzadehi and Rashidi [5] ศึกษาประสิทธิภาพของสารทำงานในการทำงานที่แตกต่างกันในวัฏจักรแรงคินอินทรีย์ ที่ใช้ความร้อนเหลือทิ้งจาก (Gas turbine modular helium reactor, GT-MHR) ที่สภาวะการทำงานของไหลแห้ง เปียก และไอเซนทรอปิก ผลการศึกษาพบว่า สารทำงานที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูงสุด คือ R-141B ซึ่งเป็นของไหลไอเซนทรอปิก รองลงมา คือ R-123 ในของไหลแห้ง และ R-717 ในของไหลเปียกตามลำดับ

จากงานวิจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า มีการศึกษาแนวทางการเลือกสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่เหมาะสม ตามสภาวะการทำงาน เช่น อุณหภูมิของแหล่งความร้อน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม สารทำงานส่วนมากที่เหมาะสมจากผลการศึกษา เป็นสารทำงานที่ไม่มีขายในประเทศไทย ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งในปัจจุบันต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้มีการติดตั้งและใช้งานมาประมาณ 2 ปี ได้ประสบปัญหาการรั่วซึมของสารทำงานในระบบ ดังนั้นจึงทำให้ต้องนำเข้าสารทำงาน R-245FA จากประเทศจีน ในราคากิโลกรัมละ 1,000 บาท จำนวน 55kg หรือคิดเป็นเงินประมาณ 55,000 บาท รวมทั้งใช้ระยะเวลาในการนำเข้าและขนส่งประมาณ 4 เดือน ซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนและใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหา คือ ใช้สารทำงานที่สามารถหาได้ในประเทศไทย มาใช้ในการเติมในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20kW$_e$ ซึ่งเป็นที่มาของวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

2. วัตถุประสงค์

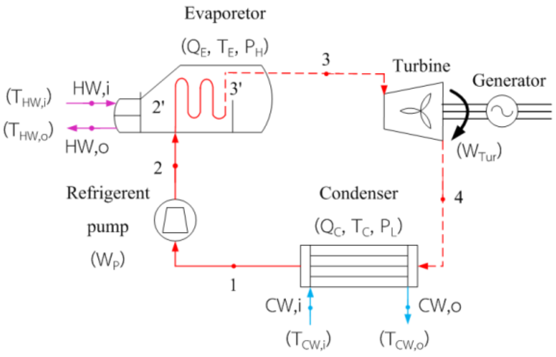
- เพื่อศึกษาศักยภาพของสารทำความเย็นที่มีจำหน่ายในประเทศไทย
- เพื่อศึกษาวิเคราะห์สารทำความเย็นที่สามารถมาทดแทนสารทำงาน R-245FA ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

3. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ก. วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle)

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นวัฏจักรที่ใช้ของไหลเป็นสารทำงาน โดยมีหลักการทำงานเหมือนวัฏจักรแรงคิน (Rankine cycle) ที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน แต่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ใช้สารอินทรีย์ที่มีจุดเดือดต่ำเป็นสารทำงาน ซึ่งสามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอได้ง่ายกว่าสารทำงาน (น้ำ) ในวัฏจักรแรงคิน โดยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ประกอบไปด้วย 4 อุปกรณ์หลัก คือ ปั๊มสารทำงาน (Refrigerant pump) เครื่องระเหย

(Evaporator) กังหัน (Turbine) และเครื่องควบแน่น (Condenser) ดังแสดงกระบวนการทำงานในรูปที่ 1



รูปที่1 แผนภาพอุปกรณ์ทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

จากรูปที่ 1 แสดงแผนภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีหลักการทำงานดังนี้ คือ สารทำงานในสถานะของเหลว (จุดที่ 1) ถูกส่งมารับความร้อนที่เครื่องระเหย (จุดที่ 2) โดยปั๊มสารทำงาน จากนั้นสารทำงานจะรับความร้อนจากน้ำร้อนภายใต้ความดันคงที่ ($P_2 = P_{2'}$) จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะของเหลวอิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 2') กลายเป็นไออิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 3') และเป็นไอร้อนยวดยิ่งที่สภาวะไอร้อนยวดยิ่ง (จุดที่ 3) เข้าสู่กังหัน ขยายตัวและขับเพลาที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นความดันและอุณหภูมิของไอของสารทำงานที่ทางออกของกังหันจะลดลง (จุดที่ 4) จะไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่นภายใต้ความดันคงที่ ($P_4 = P_1$) กลายเป็นของเหลวอิ่มตัว (จุดที่ 1) [1] ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มีการระบายความร้อนด้วยน้ำที่เครื่องควบแน่น โดยใช้หอผึ่งระบายความร้อน (Cooling tower) ทั้งนี้สมการทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ต่างๆ ในรูปที่ 1 มีดังต่อไปนี้

ปั๊มสารทำงาน

$$W_P = \dot{m}_{ref} v_1 (P_H - P_L) / \eta_{s,P} \quad (1)$$

เครื่องระเหย

$$Q_E = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_2) \quad (2)$$

เครื่องควบแน่น

$$Q_C = \dot{m}_{ref}(h_4 - h_1) \quad (3)$$

กังหัน

$$W_{Tur} = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_4)\eta_{s,Tur} \quad (4)$$

$$x_g = (s_4 - s_f) / s_{fg} \quad (5)$$

$$\dot{V}_3 = \dot{m}_{ref} / \rho_3 \quad (6)$$

ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

$$\eta_{ORC} = (W_{Tur} - W_P) / Q_E \quad (7)$$

ข. สารทำงาน (Working fluid)

การเลือกสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวแปรมีผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยการเลือกสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ควรคำนึงถึงคุณสมบัติของสารทำงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) สูง
- จุดเดือด (Boiling temperature) ต่ำ
- อุณหภูมิวิกฤติ (Critical temperature) ค่อนข้างสูง
- ความดันในการกลายเป็นไอ (Vapor pressure) สูงกว่าความดันบรรยากาศ
- ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ในสถานะแก๊สค่อนข้างต่ำ
- มีความปลอดภัย ไม่เป็นพิษ และไวไฟ
- เป็นมิตรต่อกับสิ่งแวดล้อม
- หาซื้อได้ง่าย

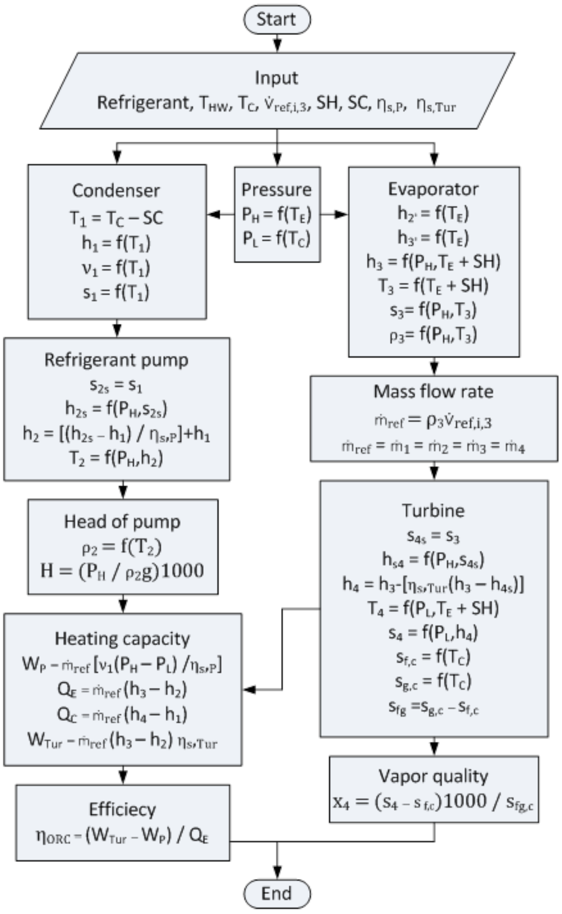
4. วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินศึกษาของงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสารทำความเย็นที่มีอยู่ขายในประเทศไทย
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารทำความเย็น เพื่อคัดเลือกสารทำความเย็นที่สามารถเป็นสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
3. นำสารทำความเย็นมาวิเคราะห์ร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีเงื่อนไขการคำนวณอ้างอิงจากผลการทดสอบของ Chaiyat and Kiatsiriroat [7] ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิน้ำร้อนป้อนเข้าระบบที่เครื่องระเหย ($T_{HW,i}$) = 116 ^{o}C ผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เครื่องระเหย ($\Delta T_{HW,E}$) = 10 ^{o}C
- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นไหลเข้าที่เครื่องควบแน่น ($T_{C,i}$) = 28 ^{o}C ผลต่างของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่น ($\Delta T_{CW,C}$) = 7 ^{o}C
- ผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เครื่องระเหยและน้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่นกับสารทำงานในระบบ ($\Delta T_{ref-HW/CW}$) = 3 ^{o}C
- ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของปั๊มสารทำงานและกังหัน ($\eta_{s,P}$) =85% และ ($\eta_{s,Tur}$)= 75%
- ประสิทธิภาพความสามารถผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($\eta_{Generator}$)= 90%

4. วิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมของปริมาณความร้อนที่ต้องป้อนแก่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ดังแสดงขั้นตอนการคำนวณในรูปที่ 2
5. สรุปและวิเคราะห์ผลของงานวิจัย



รูปที่2 ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

5. ผลและการอภิปรายผล

ก. สารทำงานในประเทศไทย

จากผลการศึกษาข้อมูล พบว่า สารทำงานที่มีจำหน่ายในประเทศไทย[9] มีจำนวนทั้งหมดประมาณ 22 ชนิด ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 และยังจำแนกแยกออกเป็น 4 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

- กลุ่ม CFC (Chlorofluorocarbon) ที่มีส่วนประกอบของ คลอรีน ฟลูออรีน และคาร์บอน คือ R-11 R-12และ R-502
- กลุ่ม HFC (Hydrofluorocarbon) ที่มีส่วนประกอบของ ไฮโดรเจน ฟลูออรีน และคาร์บอน คือ R-23 R-32 R-125 R-134A R-143A R-152A R-404A R-407C R507 และ R-410A
- กลุ่ม HCFC (Hydro chlorofluorocarbon) ที่มีส่วนประกอบของ ไฮโดรเจน คลอรีน และฟลูออรีน และคาร์บอน เช่น R-22 R-123 R-141B R-142B R-406A R-408A และ R-409A
- กลุ่ม HC (Hydrocarbon) ที่มีส่วนประกอบของไฮโดรเจน และคาร์บอน คือ R-290 และ R-600A (Isobutane)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของสารทำงานชนิดต่างๆ [8,9]

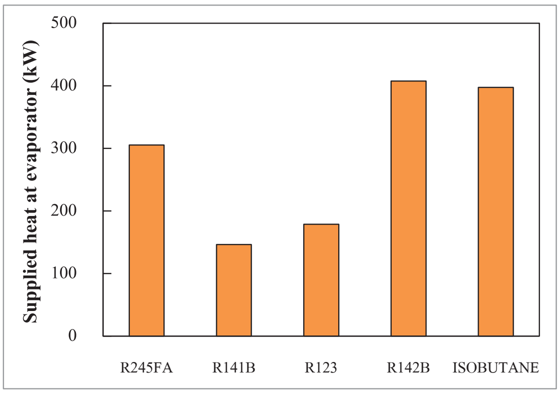
สารทำงาน	T_b (^{o}C)	T_{crit} (^{o}C)	Safety	GWP	ODP
R-11	23.7	198	A1	4,000	0.9
R-12	-29.8	112.04	A1	1,060	0.82
R-502	-43.3	82.2	A1	5,590	0.229
R-22	-40.81	96.145	A1	1,790	0.045
R-123	27.823	183.68	B1	77	0.010
R-141B	32.05	204.35	n.a	717	0.120
R-142B	-9.12	137.11	A2	2,220	0.060
R-406A	-32.9	116.5	A2	1,900	0.036
R-408A	-44.6	83.3	n.a	3,000	0.016
R-409A	-35	107	n.a	1,288	0.05
R-23	-82	26.3	n.a	11,700	0

สารทำงาน	T_b (°C)	T_{crit} (°C)	Safety	GWP	ODP
R-32	-51.651	78.105	A2	716	0
R-125	-48.090	66.023	A1	3,420	0
R-134A	-26.074	101.06	A1	1,370	0
R-143A	-47.241	72.707	A2	4,180	0
R-152A	-24.023	113.26	A2	133	0
R-404A	-46.5	72.1	n.a	3,260	0
R-407C	-43.8	86.2	A1	1,530	0
R507	-46.7	70.9	n.a	3,300	0
R-410A	-33	108	A1	973	0.03
R-290	-42.114	96.74	A3	~20	0
R-600A	-11.749	134.660	A3	~20	0

จากผลการทดสอบของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 kW$_e$ ที่ใช้สารทำงาน R-245FA [7] พบว่าอุณหภูมิของไอสารทำงานเข้ากังหันมีค่าประมาณ 94 °C ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการเลือกสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ควรเลือกสารทำงานที่มีอุณหภูมิจุดวิกฤตสูงกว่าอุณหภูมิไอสารทำงานเข้ากังหัน ซึ่งควรจะมีค่ามากกว่า 130 °C จากข้อมูลในตารางที่ 1 ผลที่ได้ พบว่า มีสารทำงานที่เหมาะสม 5ชนิด อันประกอบไปด้วย R-141BR-11 R-123 R-142B และ R-600A แต่อย่างไรก็ตาม R-11 ที่มีจุดเดือดสูง แต่เป็นสารพิษมีผลต่อสิ่งแวดล้อม และถูกยกเลิกใช้ไปแล้ว ดังนั้นจึงเหลือสาร 4 ชนิด ที่จะนำไปวิเคราะห์ร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เพื่อหาสารทำงานทดแทน R-245FA ต่อไป

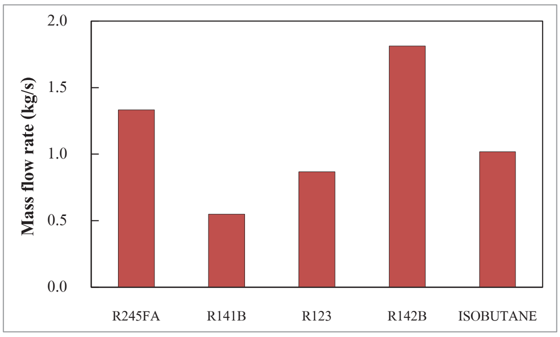
ข. ผลการวิเคราะห์สารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

จากรูปที่ 3 แสดงปริมาณความร้อนที่ต้องป้อนแก่ระบบที่เครื่องระเหย โดยก่อนการปรับปรุงที่ใช้สารทำงาน R-245FA ต้องการค่าปริมาณความร้อนที่ประมาณ 300 kWเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าขนาด 20 kW$_e$ และเมื่อมีการเปลี่ยนสารทำงานเป็น R-141BR-123 R-142B และ R-600A พบว่า ปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าระบบที่เครื่องระเหยเปลี่ยนแปลงเป็น 147kW180kW 400 kW และ 394kW ตามลำดับ สาเหตุเนื่องมาจากกังหันในระบบใช้เครื่องอัดไอกลับทางหมุน และสารทำงานตัวใหม่แต่ละชนิดมีความหนาแน่นของสารทำงานเมื่อกลายเป็นไอเข้ากังหันต่างกันออกไป จึงมีผลทำให้กำลังผลิตไม่เท่ากัน



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ป้อนเข้าระบบที่เครื่องระเหย

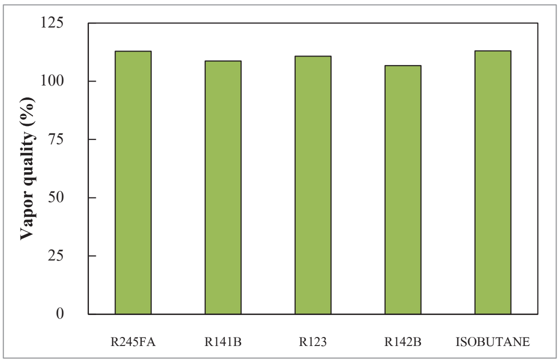
รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลมวลของสารทำงานในระบบ ผลที่ได้พบว่า ปริมาณการไหลมวลของสารทำงานที่เข้ากังหัน ซึ่งแต่ละสารมีค่าที่แตกต่างกันออกไป คือ R-141BR-123 และ R-600Aมีอัตราการไหลมวลน้อยกว่า R-245FA (อัตราการไหลปริมาตรของ R-245FA ที่ไหลเข้ากังหันมีค่าประมาณ 0.0176 m^3/s) อันเนื่องมาจากความหนาแน่นสารทำงานกลายเป็นไอที่เข้ากังหันน้อยกว่า จึงส่งผลให้ในการขยายตัวได้น้อยตามไปด้วย มีเพียง R-142B มีอัตราการไหลมวลสูงกว่า R-245FA



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบอัตราการไหลเชิงมวล

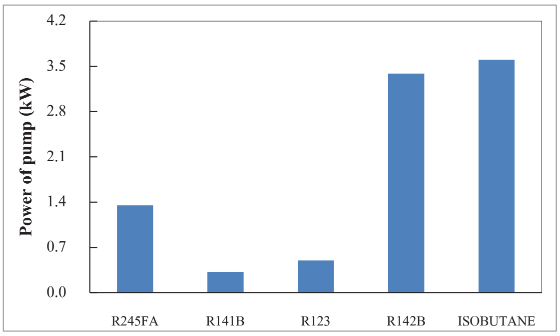
จากรูปที่ 5แสดงคุณภาพไอสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถคำนวณได้จากค่าเอนโทรปี

ของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัวที่อุณหภูมิสารทำงานควบแน่น (T_C) ซึ่งค่าคุณภาพไอสารมีปริมาณมากก็แสดงว่ามีปริมาณไอสารทำงานในสถานะไอมาก ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ต้องการคุณภาพไอสารทำงานที่ออกจากกังหันสูง เนื่องจากว่าค่าดังกล่าวต่ำจะมีผลเสียต่อกังหันทำให้เกิดการสึกกร่อนได้ง่าย ผลที่ได้พบว่า ค่าคุณภาพไอสารทำงานแต่ละชนิดมีค่าสูงกว่า 90% แสดงว่าสารทุกชนิดสามารถใช้เป็นสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิผล



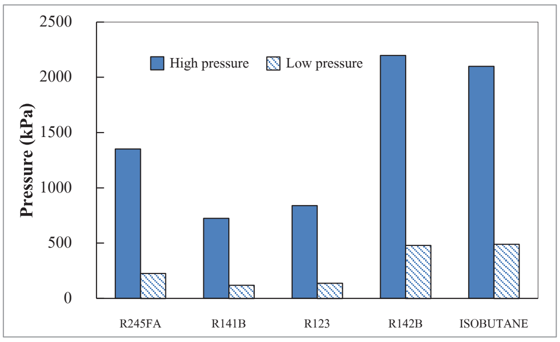
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบคุณภาพไอสารทำงาน

จากรูปที่ 6แสดงพลังงานที่ป้อนแก่ปั๊มสารทำงานเพื่อการขับเคลื่อนสารทำงานจากความดันต่ำไปยังความดันสูง ผลที่ได้พบว่า สารแต่ละชนิดจะใช้พลังงานที่แตกต่างกันไป คือ R-142B และ R-600A ใช้พลังงานแก่ปั๊มสูงกว่า R-245FA แต่ R-132 และ R-141B ใช้พลังงานแก่ปั๊มสารทำงานน้อยกว่า ตามลำดับ อันเป็นผลที่แปรผันตรงกับค่าผลต่างความดันสารทำงานด้านสูงและต่ำ



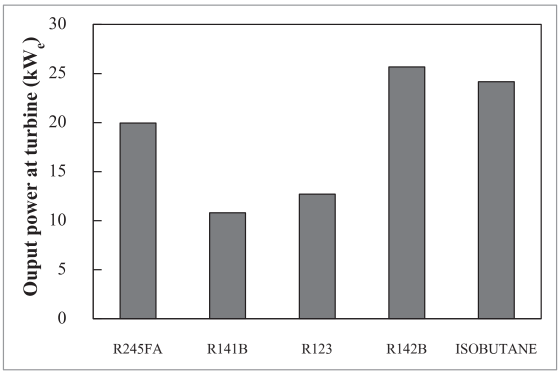
รูปที่ 6 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าแก่ปั๊มสารทำงาน

จากรูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบความดันด้านสูงและต่ำของสารทำงานในระบบ โดยความดันสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ อันประกอบไปด้วยความดันด้านสูงอ้างอิงจากความดันที่เครื่องระเหย และความดันด้านต่ำอ้างอิงจากความดันที่เครื่องควบแน่น ซึ่งผลต่างของความดันด้านสูงและต่ำมีค่ามาก ย่อมมีผลทำให้การใช้พลังงานที่ป้อนปั๊มสารทำงานสูงไปด้วย ผลที่ได้พบว่า R-142B และ R-600A มีความดันด้านสูงและต่ำของระบบสูงกว่า R-245FA แต่ R-123 และ R-141B มีความดันทั้งสองด้านของระบบต่ำกว่า



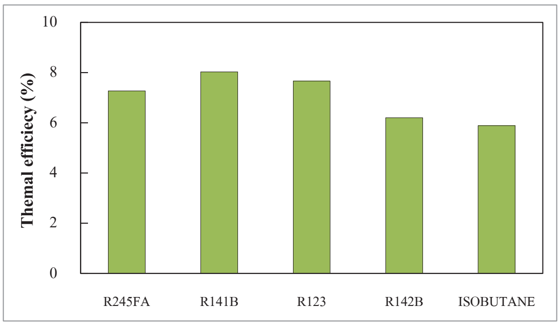
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบความดันสารทำงานในระบบ

จากรูปที่ 8 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ซึ่งก่อนการปรับปรุงที่ใช้สารทำงานในระบบเป็น R-245FA สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ที่ 20 kW_e เมื่อมีการเปลี่ยนสารทำงานใหม่มาทดแทนสารทำงานเดิน ผลที่ได้พบว่า ความสามารถกำลังผลิตไฟฟ้า คือ R-142B R-600AR-123 และ R-141B มีค่าประมาณ $25kW_e$ $24kW_e$ $12kW_e$ และ $11kW_e$ ตามลำดับ จากผลดังกล่าวพบว่า การเปลี่ยนสารทำงานใหม่จะทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์น้อยลง



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ

จากรูปที่ 9แสดงประสิทธิ์ภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นสัดส่วนพลังงานที่ได้ส่วนด้วยพลังงานที่ป้อนแก่ระบบ โดยการเปรียบเทียบประสิทธิ์ภาพเชิงความร้อนของสารทำงานทั้ง 5 ชนิด ผลที่ได้พบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของสาร R-141B มีค่าสูงสุด รองลงมาเป็น R-123R-245FA R-142B และ R-600A ตามลำดับ



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

6. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิเคราะห์การเลือกสารทำงานที่ความเหมาะสมในการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สำหรับในประเทศไทยสามารถสรุปผลได้ ดังต่อไปนี้

1) สารทำงานเหมาะสมสำหรับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และมีจำหน่ายในประเทศไทยมีจำนวน 4 ชนิด คือR-141BR-123 R-142B และ R-600A
2) สารทำงานที่เหมาะสมในการทดแทน R-245FA ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ R-141B เพราะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สูงสุดประมาณ 8.03 %เมื่อเทียบกับ R-123 R-142B และ R-600A

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ "โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา" และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ แผนพัฒนาพลังงานทดแทน ภายใต้โครงการความร่วมมือระหว่างไทย-จีน 2558 ที่ให้ทุนสนับสนุนทำการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Chaiyat N (2015) Assessment Alternative Energy for Organic Rankine Cycle Power Plant in Thailand. School of Renewable Energy Maejo University, Chiang Mai, Thailand.

[2] Liu H, Zhou Q, Zhou H, Wang P (2015) Experiments and thermal modeling on hybrid energy supply system of gas engine heat pumps and organic Rankine cycle, **Energy and Buildings**, 87, 226-232.

[3] Ling X, Wang D, Peng H, Liu L, Tao L.L (2013) Efficiency and optimal performance evaluation of organic Rankine cycle for low, **Energy**, 50, 343-352.

[4] Wang E.H, Zhang H.G, Fan B.Y, Ouyang M.G, Zhao Y, MuQ.H (2011) Study of working fluid selection of organic Rankine cycle (ORC) for engine waste heat recovery, **Energy**, 36, 3406-3418.

[5] Habibzadehi A, Rashidi M.M (2016) Thermodynamic analysis of different working fluids used in organic Rankine cycle for recovering waste heat from GT-MHR **Journal of Engineering Science and Technology**,11, 121-135.

[6] Quolini S, Declaye S, Legrosl A, Guillaume L, Lemort V (2012)Working fluid selection and operating maps for Organic Rankine Cycle expansion machines **International Compressor Engineering Conference at Purdue**, July 1546, 16-19.

[7] Chaiyat N and Kiatsiriroat T (2015) Analysis of combined cooling heating and power generation from organic Rankine cycle and absorption system, **Energy** 91, 363-370.

[8] Jumel S.PH, Feidt M, Kheiri A, Le V.L (2012) Working fluid selection and performance comparison of subcritical and supercritical organic Rankine cycle (ORC) for low temperature waste heat recon, **ECEEE 2012 Summer study on Energy efficiency in industry**, 559-569.

[9] บริษัท อ้าวหงษ์ ไทยโรเดน น้ำยาแอร์ (ประเทศไทย) จำกัดการผลิต และจำหน่ายน้ำยาแอร์ [ออนไลน์] ได้มาจาก: http://www.atrrefrigerant.com/TH/index.html

9. อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อ	**ความหมาย**
C	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ (kJ/kg·K)
h	เอนทัลปี (kJ/kg)
$\dot{m}$	อัตราการไหลมวล (kg/s)
Q	อัตราความร้อน (kJ/kg)
T	อุณหภูมิ (°C)
$\dot{V}$	อัตราการไหลปริมาตร (m^3/s)
s	เอนโทรปี (kJ/kg·K)
x	คุณภาพไอสารทำงาน (%)
W	งาน (kW)
ตัวกรีก	**ความหมาย**
η	ประสิทธิภาพ (%)
ν	ปริมาตรจำเพาะของไหล (m^3/kg)
ρ	ความหนาแน่น (kg/m^3)
ตัวห้อย	**ความหมาย**
b	Boiling
CW	Cooling water
C	Condenser
E	Evaporator
e	Eclectic
f	Fluid
g	Gas
H	High
HW	Hot water
i	Inlet
L	Low
o	Outlet
P	Pump
Tur	Turbine
ref	Refrigerant

การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบแสงสว่างสำนักงานโดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2 kWp

Diminution of CarbonDioxide Emissionsin the Office Lighting System by Using the 1.2 kWp PV Electrification System

อนุสรณ์ แสงประจักษ์*,วรัญญา เทียงแก้ว, อรัญธร พรฉัตฎู และเอกภูมิ ใจศิริ

ArnusornSeangprajak[1] WarunyaTeangkaw, ArunthornPornchatpu and AkaphoomJaisiri

หน่วยวิจัยพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามตำบลขามเรียง

อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

Energy Research Unit, Department of Physics, Science,Mahasarakham University,

Kham-riang, Khantarawichai, Mahasarakham, 44150

Arnusorn.s@msu.ac.th, Tel: 043754322, Fax: 043754379

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบแสงสว่างสำนักงานโดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2 kWpทำการติดตั้งระบบณอาคารวิทยาศาสตร์ชีวภาพคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยนำไปใช้กับระบบแสงสว่างที่มีอยู่เดิมในห้องสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ โดยระบบใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกร่วมซิลิกอนขนาด 75 W จำนวน 16 แผงและใช้อินเวอร์เตอร์รุ่น JSI-1500TL จำนวน 1 เครื่อง ทำการเก็บข้อมูลค่าความเข้มแสงค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิแวดล้อมและคุณลักษณะทางไฟฟ้าต่างๆ ของระบบทุกๆ 15 นาที ตั้งแต่เวลา 08:00 -17:00 น.โดยการทำงานของระบบไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นไปโดยอัตโนมัติ นั่นคือเมื่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลดระบบจะปรับไปใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งของการไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโหลดแทน และเมื่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟได้มากกว่าหรือเท่ากับความต้องการของโหลดระบบจะส่งกำลังไฟฟ้าไปยังระบบแสงสว่าง จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่ากับ1,501.1 kWh/ปีโดยสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติได้850.8 kg_{CO2}/ปีใช้เงินในการลงทุน82,400บาทโดยมีระยะเวลาคืนทุน5.0ปี

Abstract

This research aims to study the diminution of carbon dioxide emissions in the office lighting system by using the 1.2 kWp PV Electrification System. The system installed for the lighting system in the Science Secretary Office, Mahasarakham University. The system consists of sixteen75Wpmc-Si PV modules and a unit of the 1.5 kW inverter model JSI-1500TL. The concerning parameters, i.e., solar irradiation, modules temperature, ambient temperature and electrical characteristicswere record every 15 minutes, during 08:00-17:00 o'clock.The PV electrification system and the load are automatically interactions by function of the intelligent control strategy in the inverter. While the solar power generation is insufficient and could not meet the demand, thenthe electricity is automatically supplies by power grid system. And, while solar power generation higher than the demand, the electricity is automatically supply by the PV system. The study shows that the developed system generates1,501.1 kWh/year of electricity and reduces 850.8 kg_{CO2}/year of CO_2 emission. The installation cost of the project is 82,400 Baths, and the payback period is 5.0 years.

คำหลัก: การผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์, การปลอดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Key Words : PV Electrification system; CO_2 emissions

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานหลักที่นำมาผลิตกระแสไฟฟ้ายังคงเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลซึ่งการเผาไหม้ของพลังงานชนิดนี้ทำให้เกิดการปลอดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อันเป็นสาเหตุหลักของการเกิดปัญหาสภาวะโลกร้อนแนวทางการแก้ไขปัญหาอย่างหนึ่งคือการเปลี่ยนมาใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม(Lund, 2007) โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารสำนักงานโดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2 kWpณ ห้องสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามและทำการศึกษาเพื่อประเมินการทำงานของระบบและศักยภาพในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบหนึ่งปี

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาด้านต่างๆ ดังนี้

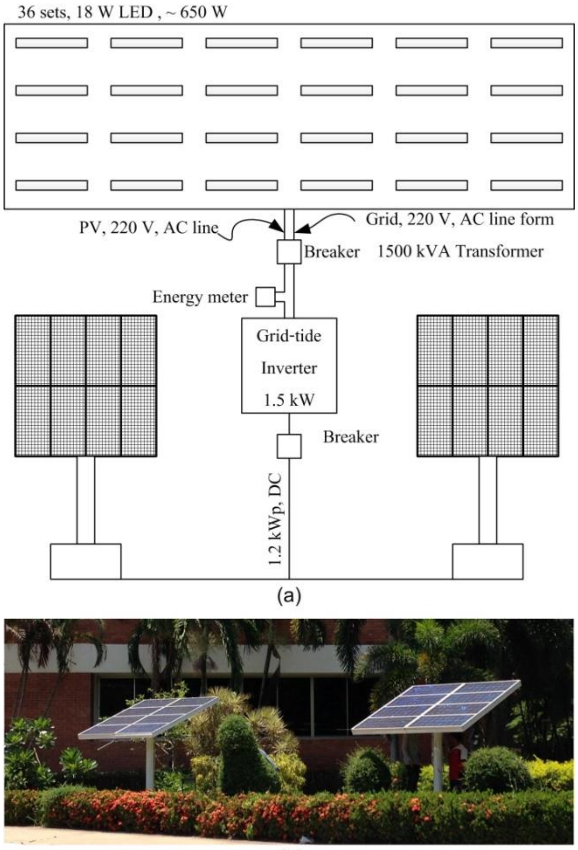
1) เพื่อศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2 kWp คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

2) เพื่อศึกษาศักยภาพการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบที่ทำการติดตั้ง

3) เพื่อศึกษาระยะเวลาคืนทุนของระบบที่ทำการติดตั้ง

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดผลึกร่วมซิลิคอนขนาด 1.2 kWp สำหรับระบบแสงสว่างสำนักงาน (แนวคิดของระบบแสดงไว้ในรูปที่ 1)และทำการเก็บข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าโดยการอ่านค่าจากอินเวอร์เตอร์ ที่แสดงผลบนหน้าจอและโดยการใช้มิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำไปวิเคราะห์ผล



(b)

รูปที่ 1 ระบบPV ขนาด 1.2 kWp (a) แนวคิดของระบบ (b) ระบบที่ทำการติดตั้ง

ในส่วนของการลดค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบแสงสว่างในสำนักงานใช้สมการ (1) ในการคำนวณ นั่นคือ

$$CO_{2,RD} = EF_{fuel} \times E_{PVS} \quad (1)$$

เมื่อ $CO_{2,\ RD}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ลดลง มีหน่วยเป็น “kg_{CO2}” EF_{fuel} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO_2 มีหน่วยเป็น “kg_{CO2}/kWh” มีค่าเท่ากับ 0.567 kg_{CO2}/kWh และ E_{PVS} คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากระบบ PV ที่จ่ายให้กับระบบแสงสว่างเพื่อชดเชยการใช้จากระบบสายส่งการไฟฟ้า มีหน่วยเป็น “kWh” (ฝ่ายสิ่งแวดล้อมการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2558)

งานวิจัยนี้ทำการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ค่าระยะเวลาคืนทุนคำนวณโดยใช้สมการระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (simple payback period) เพื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุนของโครงการดังแสดงในสมการ (2) นั่นคือ

$$PB = IC/SC \qquad (3)$$

โดย PB คือระยะเวลาคืนทุน (ปี) IC คือเงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการ (บาท) และ SC คือค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการดำเนินโครงการ (บาท/ปี)(กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2554)

4. วิธีการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยได้ทำการสำรวจระบบแสงสว่างเดิมในสำนักงาน ซึ่งพบว่าเป็นระบบหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดT8 ขนาด 36 W จำนวน 36 หลอดซึ่งมีบัลลาสต์ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า ในการศึกษานี้จึงได้เปลี่ยนระบบหลอดไฟฟ้าให้เป็นชนิดLED T8 ขนาด 18 Wโดยความสว่างยังคงอยู่ในช่วงมาตรฐานเดิม

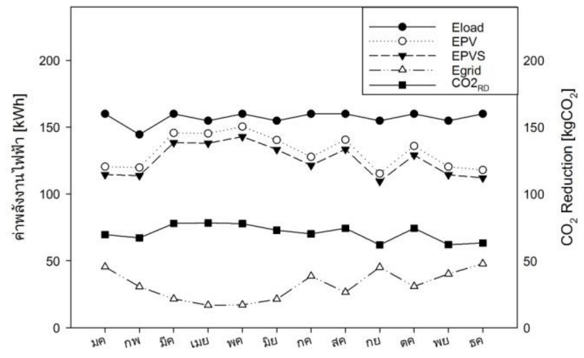
หลังจากนั้นทำการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2 kWpโดยใช้ Grid-tide inverter รุ่น JSI-1500TL ขนาด 1.5 kW ในการเชื่อมโยงกำลังไฟฟ้าสู่ระบบแสงสว่างในห้องทำการเก็บข้อมูลพฤติกรรมการทำงานเป็นเวลา 5เดือนตั้งแต่เดือนตุลาคม 2558 – กุมภาพันธ์ 2559 โดยเก็บข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิแวดล้อมเก็บข้อมูลของคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ ที่แสดงผลบนหน้าจออินเวอร์เตอร์ ได้แก่ ค่าพลังงานไฟฟ้ารายวันค่าพลังงานไฟฟ้ารวมค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากอินเวอร์เตอร์และค่ากระแสไฟฟ้าสลับที่จ่ายจากอินเวอร์เตอร์ทำการเก็บข้อมูลในทุกๆ 15 นาทีตั้งแต่ 08.00 – 17.00 น.แล้วนำไปประเมินการทำงานของระบบในช่วงเวลา 1 ปี ในด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ ค่าการชดเชยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบ และระยะเวลาคืนทุนของระบบ

5. ผลการวิจัยและการอภิปราย

จากการเก็บข้อมูลและนำไปวิเคราะห์และประเมินผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ระยะยาว ในรอบ 1 ปี พบว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง (E_{LOAD}) ของสำนักงานมีค่าเท่ากับ 1,883.5 kWh ต่อปีโดยพลังงานไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (E_{PV}) เพื่อจ่ายให้กับโหลดมีค่าเท่ากับ 1,580.1kWh ต่อปี เมื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยอินเวอร์เตอร์ ทำให้พลังงานไฟฟ้ารวมที่ได้จากระบบ (E_{PVS}) มีค่าเท่ากับ 1,501.1 kWh ต่อปี (ดังแสดงในตารางที่ 1และรูปที่ 2)

ตารางที่ 1. ค่าพลังงานไฟฟ้าและปริมาณการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เดือน	E_{LOAD} (kWh)	E_{PV}(kWh)	E_{PVS}(kWh)	E_{GRID} (kWh)	CO_2, RD(kg)
มค	160.0	120.5	114.5	45.5	69.7
กพ	144.5	119.8	113.8	30.7	67.2
มีค	160.0	145.7	138.4	21.6	78.0
เมย	154.8	145.3	138.0	16.8	78.4
พค	160.0	150.4	142.9	17.1	77.9
มิย	154.8	140.4	133.3	21.4	72.9
กค	160.0	127.8	121.4	38.6	70.3
สค	160.0	140.6	133.5	26.5	74.4
กย	154.8	115.3	109.5	45.2	62.0
ตค	160.0	135.9	129.1	30.9	74.4
พย	154.8	120.4	114.4	40.3	62.2
ธค	160.0	118.0	112.1	47.9	63.4
รวม	1883.5	1580.1	1501.1	382.4	850.8



รูปที่ 2ค่าพลังงานไฟฟ้า และปริมาณการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ซึ่งถูกจ่ายเข้าสู่ระบบแสงสว่างในสำนักงาน ทำให้สามารถลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งการไฟฟ้าโดยเฉลี่ยถึง 80 %

เมื่อพิจารณาการปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างในรอบ 1 ปี ($CO2_{RD}$) พบว่าระบบดังกล่าวสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เท่ากับ 850.8 kg_{CO2}ลดลงจากกรณีไม่มีการติดตั้งระบบดังกล่าว80%โดยงบลงทุนของโครงการเท่ากับ 82,400 บาท ซึ่งทำให้เกิดผลประหยัดจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบ PV และจากราคาคาร์บอนเครดิตเท่ากับ 5,882.5 และ209.16 บาทต่อปี ตามลำดับ (ค่าพลังงานไฟฟ้า3.9189 บาท/kWhและราคาคาร์บอนเครดิต 0.24585 บาท/kg_{CO2}) นอกจากนั้นยังมีผลประหยัดเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเท่ากับ 10,094.8 บาทต่อปี เมื่อประเมินระยะเวลาคืนทุน พบว่าโครงการมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5.0 ปี

6. สรุปผลวิจัย

การศึกษาการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบแสงสว่างสำนักงานโดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2 kWpณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พบว่า ระบบสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 1,501.1 kWh ต่อปี ทำให้สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เท่ากับ 850.8 kg_{CO2}ลดลงจากกรณีไม่มีการติดตั้งระบบดังกล่าวถึง 80%โครงการใช้งบประมาณในการลงทุนเท่ากับ82,400 บาทมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5 ปี

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยปฏิบัติการวิจัยพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยดังกล่าวนี้

8. เอกสารอ้างอิง

Lund, H. (2007). Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*, *32*(6), 912-919.

ฝ่ายสิ่งแวดล้อมโครงการ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2558).**ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) จากโรงไฟฟ้าของ กฟผ. พ.ศ.2558** [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.egat.co.th

Luque, A., &Hegedus, S. (Eds.). (2011). **Handbook of photovoltaic science and engineering**.John Wiley & Sons.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2554).**แนวทางการผลิตของผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้รับฉลากคาร์บอน**. [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.ertc.deqp.go.th/ertc/images/stories/user/ct/ERTC20Y/CarbonLabel.pdf

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2556).**เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์**.[ออนไลน์] ได้จาก :http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solar-cell.htm

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2542). **ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย**.[ออนไลน์] ได้จาก :(http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun_thailand.htm

Chouder, A. Silvestre, S. Taghezouit, B. and Karatepe, E. (2013).Monitoring, modelling and simulation of PV

systems using LabVIEW.**Solar Energy**, 91, Pages 337-349

Ren, H. Gao, W. Ruan, Y. (2009). Economic optimization and sensitivity analysis of photovoltaic system in residential buildings, **Renewable Energy**, 34(3), Pages 883-889

Bakos, G.C. Soursos, M. (2002). Technical feasibility and economic viability of a grid-connected PV installation for low cost electricity production, **Energy and Buildings**, 34(7), Pages 753-758

การพัฒนาตู้อบพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และไฟฟ้า

Incubators solar Energy Combined Heat and power.

สิทธิชัย เสนารัตน์[1]* และ ธราธิป ภู่ระหงษ์[2]

[1]* สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

* Email: nabou.united@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความการพัฒนาตู้อบพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการอบแห้งให้มีความสะอาด และสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้า ระยะเวลาในการอบแห้ง ในส่วนการดำเนินงานผู้จัดทำได้ทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง จากนั้นก็ทำการออกแบบและทำชุดคอนโทรล ประกอบด้วย โครงสร้าง อุปกรณ์ และวงจรควบคุม จากผลการทดลองความสามารถของตู้อบพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และไฟฟ้า ในเวลา 60 นาที ถ้าใช้เฉพาะไฟฟ้าฮีตเตอร์จะทำงาน จำนวน 19 ครั้ง แต่ละครั้ง ทำงาน 30 วินาที เวลาการทำงาน 60 นาที จะใช้ไฟฟ้า 9.5 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0475 Unit/h หากใช้ร่วมกับชุดรับความร้อนแสงอาทิตย์ ฮีตเตอร์ไฟฟ้าจะทำงาน จำนวน 6 ครั้ง ช่วงทำงาน ต่อครั้ง 20 วินาที ในการทำงาน 60 นาที ใช้ไฟฟ้า 2 นาที พลังงานที่ใช้ 0.0099 Unit/h ดังนั้นการใช้พลังงานร่วมของตู้อบพลังงานความร้อนร่วมสามารถประหยัดไฟฟ้าได้ 79.15 %

Abstract

This paper incubators solar energy, combined heat and power. The objective was to study how to dry clean. And can save energy During the drying In the presentation made to the related information. Then the set design and control structure and control circuits. The results show the ability of incubators energy combined heat and power solar. In 60 minutes if using only the electric heater will run 19 times each running 30 seconds running time 60 minutes to 9.5 minutes using electric power 0.0475 Unit / h when used in conjunction with solar heating. Electrical heater will operate six times the amount of work per 60 minutes, 20 seconds to run electrical energy used by 2 minutes 0.0099 Unit / h, so the power consumption of the oven to save energy 79.15%, combined heat and power.

คำหลัก: ตู้อบพลังงานความร้อนร่วม แสงอาทิตย์ ไฟฟ้า

Keywords: oven heats energy, sunshine, electricity

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยี มีความสำคัญในการใช้ชีวิตประจำวันของผู้คนบนโลกใบนี้ ทำให้เกิดการแข่งขันทางด้านเทคโนโลยีมากมาย โดยการแข่งขันนั้นผู้ประกอบการมักจะหาเอาผลประโยชน์มากกว่าที่จะเหลียวหลังมามองในเรื่องของการใช้พลังงาน เมื่อมีการเจริญทางด้านเทคโนโลยีมากเท่าใดก็ย่อมที่จะต้องให้พลังงานมหาศาล เพื่อที่จะป้อนสายการผลิตให้ดำเนินไปได้ตามความต้องการของผู้ใช้ มีบทความที่บอกถึงความต้องการใช้พลังงาน พลังงานได้เป็นสินค้าที่มีความเป็นสากล (International) มีการซื้อขายกันทั่วโลก ซึ่งตัวอย่างที่เห็นได้ชัดก็คือ น้ำมันปิโตรเลียม และพลังงานประเภทอื่นซึ่งขนย้ายได้ยาก เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และไฟฟ้า ก็ได้มีการขยายเครือข่ายการขนส่ง ท่อ และสายส่งระหว่างประเทศมากขึ้น เช่น ในยุโรป อเมริกา และแอฟริกา ทำให้การค้าพลังงานระหว่างประเทศมีความสำคัญและมีการขยายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากพลังงานเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อทุกๆ อย่าง ความ

ต้องการใช้พลังงานที่มากมาย แต่ในทางกลับที่ปริมาณพลังงานมีจำนวนลดน้อยลงไปเลื่อยๆ [5]

ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา ความต้องการใช้พลังค่อนข้างสูงแต่มีพลังที่จำกัดและต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศปีละหลายสิบล้านบาท พลังที่มีการนำเข้ามามากที่สุดคือ น้ำมัน เพราะใช้ในการขับเคลื่อนทางด้านเศรษฐกิจ ของประเทศ วิกิจพลังงานดังกล่าวทำให้ผู้คนเริ่มหันมาสนใจ เรื่องของพลังงานทดแทนที่เรามีอยู่มากมาย หนึ่งในนั้นคือพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งมีอยู่มากแทบทุกที่และเหมาะกับประเทศเกษตรกรรมอย่างมากเพราะเราใช้การแปลรูปลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่นการตากแห้งผลผลิตทางการเกษตร แต่สภาพอากาศบ้านเราทุกวันนี้แปรปรวนมากอันเนื่องมาจากสภาพฤดูกาลที่ไม่สามารถปรับทัน ทำให้ผลผลิตเสียหายและความร้อนที่ได้ไม่มีความต่อเนื่อง ก่อให้เกิดปัญหากับผลผลิตตามมามากมาย

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัย ได้มีแนวคิดที่จะหาวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับกลุ่มเกษตรกร ซึ่งเกษตรกรจะไม่ต้องกังวลกับแสงอาทิตย์มากหรือน้อย ความร้อนจะยังคงที่และเวลากลางคืนจะนำความร้อนจากไฟฟ้าเข้ามาใช้งานทำให้ ตู้อบจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน ยังคงความร้อนจากไฟฟ้าช่วงเวลากลางคืน

2. ขั้นตอนการดำเนินการ

2.1 ศึกษาเนื้อหาและรวบรวมข้อมูล

การจัดทำงานวิจัยชุดตู้อบพลังความร้อนร่วม ที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์และจากกำลังไฟฟ้านี้ จำเป็นจะต้องใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหลายทฤษฎีมาประกอบกันเพื่อสร้างงานวิจัยดังกล่าวแต่ในงานวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีที่มีความจำเป็นในการออกแบบและสร้างชุดตู้อบพลังความร้อนร่วม ซึ่งประกอบไปด้วยทฤษฎีต่าง ๆ ดังนี้

2.1.1 ทฤษฎีชุดรับแสงอาทิตย์

2.1.2 ทฤษฎีของฮีตเตอร์ (Heater)

2.1.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

ทฤษฎีอื่น ๆ อีกที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยนี้ ไม่ว่าจะเป็นการสร้างโครงสร้าง การใช้ฉนวนในการกักเก็บความร้อน นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาข้อมูลในเรื่องอื่นเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างงานวิจัยอีกด้วย เรื่องชุดรับแสงอาทิตย์ การถ่ายเทความร้อน ที่จะทำการออกแบบ เพื่อต้องการทราบเกี่ยวกับองค์ประกอบของเนื้อหาเรื่องดังกล่าว ซึ่งจะเป็นส่วนช่วยในการออกแบบหรือการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วยโดยที่การวิเคราะห์เนื้อหาเรื่องชุดรับแสงอาทิตย์ การถ่ายเทความร้อนนี้ เราจะใช้ทฤษฎีและหลักการการวิเคราะห์การแผ่รังสีความร้อนมีผลจากโฟรตรอน เคลื่อนย้ายจากพื้นผิวหนึ่งไปสู่อีกพื้นผิวหนึ่ง และการวิเคราะห์ความร้อนของตัวรับแสงอาทิตย์แบบรวมแสง จากสมการ (1)

$$U_L = h_w + h_r + U_{cond} \quad (1)$$

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนสามารถคำนวณได้จาก

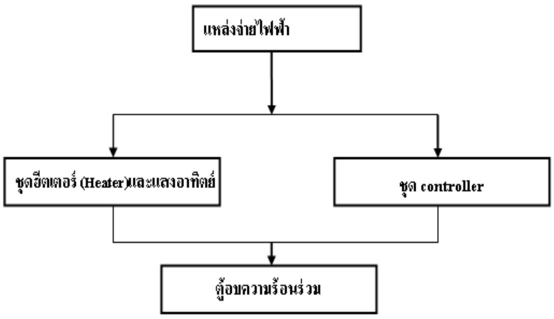
$$h_r = 4\sigma\varepsilon\bar{T}^3 \quad (2)$$

เมื่อ $\bar{T}$ เป็น อุณหภูมิเฉลี่ยของการแผ่รังสี

ε เป็น ค่าการแผ่รังสีของผิวดูดกลืน

2.2 การออกแบบการทำงาน

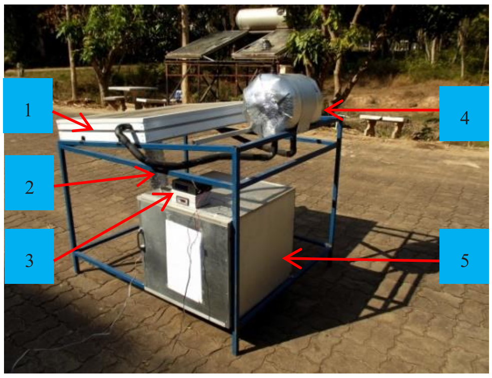
การจัดทำงานวิจัยชุดตู้อบพลังความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และไฟฟ้า ที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์และจากกำลังไฟฟ้านี้ จะมีชุดควบคุมความร้อนภายในตู้อบให้อุณหภูมิคงที่อยู่เสมอนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ Microcontroller PIC 16F877 มีแผนผังการทำงานดังนี้



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานตู้อบพลังความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และไฟฟ้า

2.3 การสร้างตู้อบพลังความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และไฟฟ้า

จากขั้นตอนการศึกษาและออกแบบ จากข้อมูลทั้งหมดแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการประกอบ นำเอาส่วนประกอบของชุดควบคุมความร้อน ส่วนของตู้อบ และทำการทดสอบการทำงานเบื้องต้น



1 แผงรับแสงอาทิตย์
2 ท่อดูดความร้อนแผงรับความร้อนเข้าตู้อบ
3 ชุดควบคุมการทำงาน
4 ถังน้ำมันพืชคงความร้อนแผงรับแสงอาทิตย์
5 ตู้อบ

รูปที่ 2 ตำแหน่งอุปกรณ์การทำงานตู้อบพลังความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และไฟฟ้า

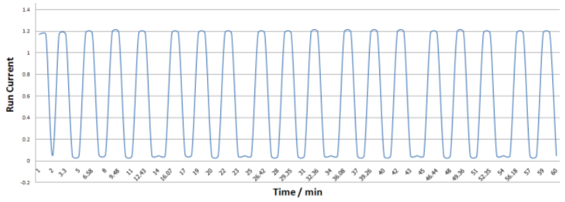
ตั้งอุณหภูมิดูดความร้อนแผงรับแสงอาทิตย์

ตั้งอุณหภูมิภายในตู้อบ

รูปที่ 3 ตำแหน่งอุปกรณ์การทำงานจอแสดงผลอุณหภูมิตู้อบและแผงรับความร้อนแสงอาทิตย์

3. การทดสอบและบันทึกผล

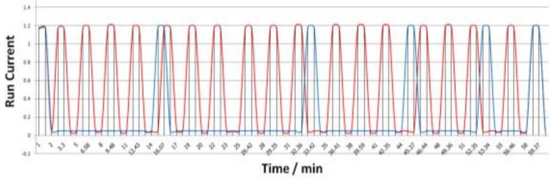
จากการดำเนินงานวิจัย ทำให้ได้ผลของการทำงานตู้อบพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และไฟฟ้า ที่บันทึกผลการทดลอง ในช่วงฤดูหนาว ดังนี้ การทดลองการทำงานของตู้อบ ตั้งอุณหภูมิในตู้ 40 °C โดยใช้ฮีตเตอร์ทำความร้อนขนาดกำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ 220 โวลต์ ที่ค่าอุณหภูมิภายนอกตู้ ระหว่าง 20 °C – 22 °C ได้ค่าจำนวนครั้งการทำงานของฮีตเตอร์ ใน 1 ชั่วโมง ดังการแสดงในกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 แสดงผลการทำงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าที่มีช่วงการทำงานจากเริ่มเปิดการทำงานจนถึง 1 ชั่วโมง

เมื่อนำผลการทำงานมาลงในกราฟ การหาความสัมพันธ์ระหว่าง ระหว่าง กระแสไฟฟ้า และเวลาการทำงาน ใน 1 ชั่วโมง พบว่าช่วงเวลา 10 นาที จะทำงาน 3 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที

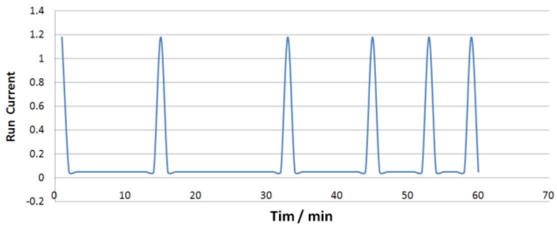
การทดลองการทำงานของตู้อบ ตั้งอุณหภูมิในตู้ 40 °C โดยใช้ฮีตเตอร์ ทำความร้อนขนาดกำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ 220 โวลต์ ที่ค่าอุณหภูมิภายนอกตู้ ระหว่าง 28 °C – 30 °C ได้ค่าจำนวนครั้งการทำงานของฮีตเตอร์ ออกมาใน 1 ชั่วโมง ดังการแสดงในกราฟที่ 2



กราฟที่ 2 แสดงผลการทำงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าที่มี ที่มีแสงอาทิตย์ส่องมายังแผงรับแสง ช่วงการทำงานจากเริ่มเปิดการทำงานจนถึง 1 ชั่วโมง

ผลจากการทำงานของตู้อบพลังงานความร้อนร่วมระหว่าง ไฟฟ้า และแสงแดดจากผลการทดสอบและเก็บข้อมูล การทำงานของระบบไฟฟ้าจะทำงานสั้นลง น้อยลง ระยะการทำงานลดลง

กราฟที่ 3 การเปรียบเทียบการทำงานฮิตเตอร์ไฟฟ้า



ดังแสดงในกราฟที่ 3 โดยการทำงานของตัวอย่างการเก็บข้อมูล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าที่แสดงดังกราฟ กราฟสีแดงจะเป็นการทำงานของไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ส่วนสีน้ำเงินเป็นการทำงานร่วมกันกับแสงแดด

4. สรุปผล

การพัฒนาตู้อบพลังงานความร้อนร่วม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการอบแห้งให้มีความสะอาด และสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้า ระยะเวลาในการอบแห้งในส่วนการดำเนินงานผู้จัดทำได้ทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง จากนั้นก็ทำการออกแบบและทำชุดคอนโทรล ประกอบด้วย โครงสร้าง อุปกรณ์ และวงจรควบคุม จากผลการทดลองการความสามารถของตู้อบพลังงานความร้อนร่วม ใน 60 นาที ถ้าใช้เฉพาะไฟฟ้าฮีตเตอร์จะทำงาน จำนวน 19 ครั้ง แต่ละครั้งทำงาน 30 วินาที ดังนั้นในเวลาการทำงาน 60 นาที จะใช้ไฟฟ้า 9.5 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0475 Unit/h หากใช้ร่วมกับชุดรับความร้อนแสงแดด ฮีตเตอร์ไฟฟ้าจะทำงาน จำนวน 6 ครั้ง ช่วงทำงาน ต่อครั้ง 20 วินาที ในการทำงาน 60 นาที ใช้ไฟฟ้า 2 นาที พลังงานที่ใช้ 0.0099 Unit/h ดังนั้นการใช้พลังงานร่วมของตู้อบพลังงานความร้อนร่วมสามารถประหยัดไฟฟ้าได้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] ถาวร ราชรองเมือง. (2549). **การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยไอน้ำ**.วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิตคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[2] Antonio Vega-Gálvez, Margarita Miranda, Rodrigo Clavería, Issis Quispe, Judith Vergara, Elsa Uribe,Hector Paez & Karina Di Scala. (2010) **Solar dryer with Thermal energy storage system for drying agricultural food products**: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews,Volume 14, Issue 8, Pages 2298-2314.

[3] เสริม จันทร์ฉาย และยุทธศักดิ์ บุญรอด. **“การพัฒนาเครื่องอบแห้งผลไม้ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย”** การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1 , หน้า 147-150.

[4] ชวลิต ระเริงรัมย์ และ ฐากูร เสวิวัฒน์. (2550). **เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อน**. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[5] Wit-Tha-Ya.(2547).**แนวโน้มพลังงาน ไทย- โลก** ได้จาก: http://www.green.kmutt.ac.th/news/

สิทธิชัย เสนารัตน์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปี พ.ศ.2557 ปัจจุบัน ตำแหน่ง อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

ธราธิป ภู่ระหงษ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี พ.ศ.2549 ปัจจุบัน ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราอาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

การวิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ

Analysis of hybrid electric power from solar energy with an exercise bike generator.

บุญเยี่ยม ยศเรืองศักดิ์

Boonyiam Yosrueangsak

สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

214 หมู่ 12 ตำบลหนองญาติ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม 48000 โทรศัพท์/โทรสาร 042-503777 E-mail : y_iam@npu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการวิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ โดยใช้โซล่าเซลล์ ขนาด 285 W x 4 แผง และจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ ขนาด 1000 W เป็นต้นกำเนิดของพลังงานไฟฟ้าส่งไปยังGrid Tie Inverterขนาด 1000 Wพบว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 4.39 kWh/dayและ136.09 kWh/mountระบบจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เฉลี่ย 0.34 kWh/day และ10.54 kWh/mountและการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 4.75 kWh/day และ147.25 kWh/mount

ABSTRACT

This article presents an analysis of the production of electricity from solar energy integrated with an exercise bike generator. The solar panel size 285 W x 4 and an exercise bike generator size 1000 W of source power to the Grid Tie Inverter 1000 W measures the solar system. Power generation is 4.39 kWh/day,136.09kWh/mount or exercise bike generator. Power generation is 0.34 kWh/day ,10.54 kWh/mount and production of hybrid electric power generation is 4.75 kWh/day and147.25 kWh/mount.

คำสำคัญ : พลังงานแสงอาทิตย์, จักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ,การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสาน

Key Words : Solar energy , exercise bike generator, Electric power integration.

1.บทนำ

ในช่วงเวลาหลายสิบปีที่ผ่านมามีการนำพลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้งานเป็นจำนวนมากทั้งในภาคเกษตร ภาคอุตสาหกรรม เนื่องด้วยราคาของอุปกรณ์ด้านนี้มีราคาที่ลดลง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานบริสุทธิ์ที่มีศักยภาพค่อนข้างสูงและยังมีแนวโน้มการใช้พลังงานทั่วโลกที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งประเทศไทยมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการนำโซล่าเซลล์มาผลิตไฟฟ้าเนื่องจากตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมีแสงแดดมากตลอดทั้งปี [1] การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ หากเป็นการใช้ในประเภทภาคเกษตรกรรม มักใช้แบบ Off - Grid สะดวกต่อการใช้งาน ส่วนภาคอุตสาหกรรม หรือภาคบ้านพักอาศัยมักใช้ แบบ On-Grid และข้อมูลด้านพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการส่งเสริมการใช้ในระดับชุมชน

การศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟเป็นการพัฒนาทรัพยากรที่มีในชุมชนมาใช้ประโยชน์สูงสุด นอกจากใช้ในการออกกำลังกาย ของ

ชุมชนแล้วยังสามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้ามาใช้ได้ ซึ่งจะเป็นแนวทางการสร้างนวัตกรรมพลังงานทดแทนที่สามารถมาใช้ในชุมชนได้จริงและสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตของอาชีพต่างๆได้ ชุมชนก็จะหันมาใช้พลังงานทดแทนมากขึ้นก็จะเกิดประโยชน์ในภาพรวมของประเทศต่อไปซึ่งสอดคล้องกับ วิสาขา ภู่จินดา[2]ได้ศึกษาเรื่องการประยุกต์หลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงในการจัดการพลังงานในระดับชุมชน ผลการศึกษาพบว่าหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงสามารถนำมาประยุกต์ใช้สนการจัดการพลังงานได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับชุมชนเพราะเป็นหน่วยงานเล็กที่สามารถบริหารจัดการได้ง่าย และทางภาครัฐเองก็ได้มีการสนับสนุนนโยบายและแผนในการจัดการพลังงานชุมชนอยู่แล้ว รวมทั้งสนับสนุนการผลิตพลังงานใช้เองในระดับชุมชนและในภาคอุตสาหกรรมทั้งด้านเทคโนโลยี อุปกรณ์ บุคลากรและงบประมาณและมีการรับซื้อพลังงานที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนในราคาที่เพิ่มขึ้น

2.วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ

3.แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์[3] (Photovoltaic system) เป็นระบบที่สามารถผลิตไฟฟ้าโดยมีกำลังการผลิตตั้งแต่ ระดับวัตต์ไปถึงเมกกะวัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ออกมานั้นไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับรังสีแสงอาทิตย์ จึงต้องมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและตัวควบคุมเข้ามาช่วยในระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อให้การผลิตมีความมั่นคงและเหมาะสม ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า และแบตเตอรี่

เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบไม่มีรูปผลึก หรือเรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin film) ได้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในเครื่องคิดเลข มีลักษณะสีม่วงน้ำตาลมีความบาง เบา ราคาถูก ผลิตให้เป็นพื้นที่เล็กๆไปจนถึงใหญ่หลายตารางเมตร มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 6 - 10% ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพจะน้อยกว่าแบบผลึก แต่มีข้อดี คือราคาถูกกว่า

3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปราศจากแปรงถ่าน[4] (Brushless DC Motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปราศจากแปรงถ่าน (Brushless DC Motor) มีลักษณะตามชื่อของมอเตอร์ คือ เป็นมอเตอร์ที่ปราศจากแปรงถ่าน สปริง และ คอมมิวเตเตอร์ ซึ่งสิ่งเหล่านั้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือมอเตอร์ซิงโครนัสเพื่อทำหน้าที่ในการจ่ายแรงดันให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ที่พันอยู่บนโรเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปราศจากแปรงถ่าน (Brushless DC Motor) มีลักษณะตามชื่อของตัวมันคือ เป็นมอเตอร์ที่ปราศจากแปรงถ่าน สลิปริง และ คอมมิวเตเตอร์ ซึ่งสิ่งเหล่านั้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือมอเตอร์ซิงโครนัส เพื่อทำหน้าที่ในการจ่ายแรงดันให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ที่พันอยู่บนโรเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปราศจากแปรงถ่านการกลับขั้วถูกจัดการโดยทรานซิสเตอร์กำลัง ซึ่งต้องถูกสวิตช์ไปตามลำดับตำแหน่งการหมุนของโรเตอร์เช่นเดียวกัน ซึ่งการตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของโรเตอร์จะใช้ตัวถอดรหัส (Encoder) แทนการใช้คอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่าน ขบวนการติดต่อทางไฟฟ้าของมอเตอร์ทั้งสองชนิดเหมือนกัน เป็นสาเหตุให้เกิดสมการและคุณสมบัติระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดเกือบจะเหมือนกันทุกประการ

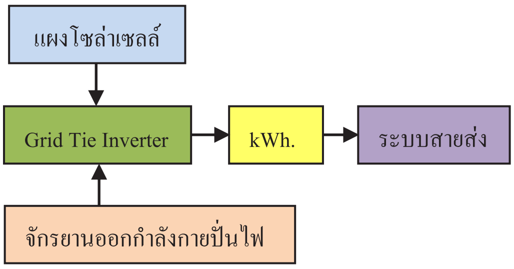
3.3 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง [5] ระบบนี้มีข้อดีคือช่วยเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบผลิตไฟฟ้า เนื่องจากหากแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงสามารถใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้ทันทีโดยใช้อินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมเป็นอุปกรณ์ในการต่อเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ในกรณีที่ไม่จำเป็นต้อง

มีแหล่งเก็บพลังงาน พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ถูกจ่ายให้ภาระทางไฟฟ้าในบ้าน ส่วนที่เหลือจ่ายเข้าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

4.วิธีการวิจัย

4.1 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นข้อมูลสนเทศในการศึกษาวิจัย

4.2 การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานผู้วิจัยนำเสนอลักษณะการทำงานของระบบ แสดงดัง รูปที่ 1



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมระบบ

และผู้วิจัยกำหนดขอบเขตการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ประกอบด้วย

- แผงโซล่าเซลล์ ชนิด Polycrystalline Silicon Solar Cell285 W จำนวน 4 แผง
- Grid Tie Inverter1,000W
- Single phase Kilowatt-hour meter 5(15) A

รูปที่ 2 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

2) จักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ ประกอบด้วย

- Brushless Dc motor48 V 1,000 W
- ชุดวัดรอบแสดงผลระบบดิจิตอล
- ชุดวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แสดงผลระบบดิจิตอล
- ระบบควบคุมการผลิตพลังงาน

รูปที่ 2 จักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นเวลา 1 เดือน จักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ ทดสอบในช่วงเวลา 16.00 -18.00น. โดยบันทึกค่าปริมาณความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2) ความเร็วรอบของจักรยาน (rpm) กำลังไฟฟ้าผลิตจากการปั่นจักรยาน(W) ค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้า(kWh.)

5.ผลการวิจัย

ผู้วิจัยนำเสนอผลการการทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสาน ดังตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ช่วงเวลา	ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2) เฉลี่ยต่อวัน	กำลังไฟฟ้า solar cell (W) เฉลี่ยต่อวัน	ด้าน In put เฉลี่ย Grid Tie Inverter		พลังงานไฟฟ้า (kWh) เฉลี่ยต่อวัน
			V	A	
08.00-09.00	118.4	296.4	57.2	5.2	0.29
9.00-10.00	195.5	416.2	64.4	6.5	0.42
10.00-11.00	256.6	504.5	70.2	7.2	0.50
11.00-12.00	382.5	608.2	76.1	8.0	0.61
12.00-13.00	404.8	648.9	79.1	8.2	0.64
13.00-14.00	452.2	714.3	83.0	8.6	0.72
14.00-15.00	412.4	562.3	73.0	7.7	0.56
15.00-16.00	354.8	525.4	70.0	7.5	0.52
16.00-17.00	203.5	108.5	28.5	3.8	0.1
17.00-18.00	80.1	35.1	20.6	1.7	0.03
รวม					4.39

จากตารางที่ 1 การทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อยู่ระหว่าง 118.4 -452.2 W/m^2 กำลังไฟฟ้ารวม4,419.8 W/dayผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เฉลี่ย 4.39 kWh/dayและ 136.09 kWh/mount

ตารางที่ 2 การผลิตไฟฟ้าจากจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ

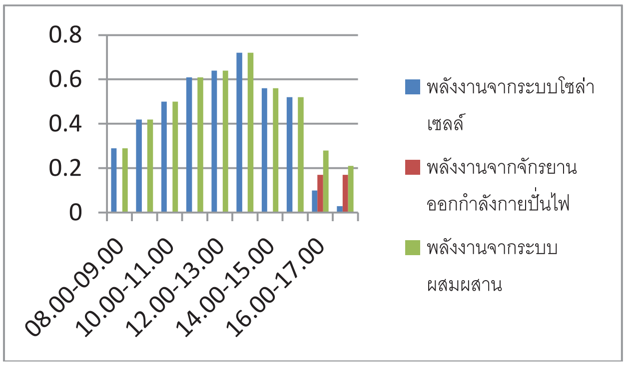
ช่วงเวลา	ความเร็วรอบจักรยานเฉลี่ย (rpm)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากจักรยาน (W)	ด้าน In put ของ Grid Tie Inverter จาก จักรยาน		พลังงานไฟฟ้า (kWh) เฉลี่ยต่อวัน
			V	A	
16.00-17.00	87	170	42.5	4	0.17
17.00-18-00	90	176	53.3	3.3	0.17

จากตารางที่ 2 การทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟโดยทดสอบวันละ 2 ชั่วโมง ในช่วงเวลา16.00-18.00 น. พบว่า ความเร็วรอบเฉลี่ย 88.5rpmกำลังไฟฟ้ารวม 346 Wผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เฉลี่ย 0.34 kWh/day และ10.54 kWh/mount

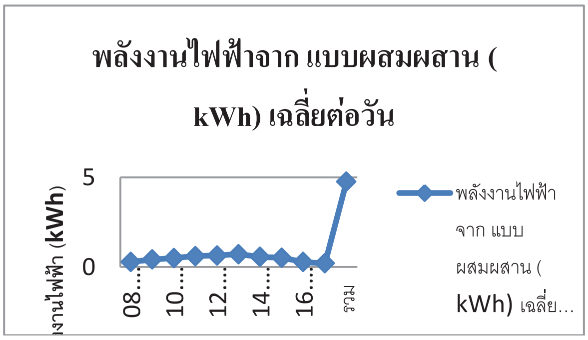
ตารางที่ 3 การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสาน

ช่วงเวลา	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแบบผสมผสาน (W) เฉลี่ยต่อวัน	พลังงานไฟฟ้าจากแบบผสมผสาน (kWh) เฉลี่ยต่อวัน
08.00-09.00	296.4	0.29
09.00-10.00	416.2	0.42
10.00-11.00	504.5	0.50
11.00-12.00	608.2	0.61
12.00-13.00	648.9	0.64
13.00-14.00	714.3	0.72
14.00-15.00	562.3	0.56
15.00-16.00	525.4	0.52
16.00-17.00	278.5	0.28
17.00-18.00	211.1	0.21
รวม	4,765.8	4.75

จากตารางที่ 3 การทดสอบการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานพบว่า กำลังไฟฟ้ารวมมีค่าเท่ากับ 4765.8 W/day 147,739.8W/mount ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เฉลี่ย 4.75kWh/dayและ147.25 kWh/mount



กราฟแสดงการผลิตพลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบ



กราฟแสดงการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสาน

6.อภิปรายผลการวิจัย

การผลิตไฟฟ้าจำแนกตามระบบ พบว่า ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เฉลี่ย 136.09 kWh/mountจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟทดสอบวันละ 2 ชั่วโมง ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เฉลี่ย10.54 kWh/mount หากเป็นระบบแบบผสมผสานผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เฉลี่ย 147.25 kWh/mount ทั้งนี้ พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ก็ผลิตได้ในเพียงช่วงกลางวัน หากนำจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟมาผสมผสานสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้นและหากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าในรถจักรยานออกกำลังกายของชุมชนให้มีจำนวนมากขึ้น ก็สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นตาม ซึ่งจะเกิดประโยชน์ในหลายด้านทั้งแง่ของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพของคนในชุมชนและยังสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อีก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัย ของ ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์ [6] ที่ได้ศึกษาแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างง่าย ที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของชุมชนในชนบทได้เสนอแนวคิดว่าพลังงานทางเลือกควรเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและขึ้นอยู่กับทรัพยากรที่มีอยู่ในชุมชน นำทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่น มาใช้ประโยชน์แทนการปล่อยทรัพยากรเหล่านั้นทิ้งให้สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์

7.สรุปสาระสำคัญของผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟผู้วิจัยสรุปสาระสำคัญของการวิจัยในครั้งนี้พบว่า การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ขนาด 1,000 W ร่วมกับ จักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาด1,000 W ผลิตผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เฉลี่ย 147.25 kWh/mount ซึ่งเป็นการนำระบบผลิตไฟฟ้าอื่นๆมาทดลองประยุกต์ใช้งานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผลการทดสอบก็แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานร่วมกันได้จริง ทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่มีข้อจำกัดในการทำงานได้เฉพาะกลางวัน อีกทั้งเป็นการประยุกต์ ทรัพยากรที่มีในชุมชนมาพัฒนาทางด้านพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดประโยชน์ได้อีกทาง ทั้งยังจะเป็นแนวทางการศึกษา พัฒนาพลังงานทดแทนด้านอื่นๆมาผสมผสานเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อในชุมชนให้เพิ่มมากขึ้นในอนาคตได้

ข้อเสนอแนะ

1.ควรมีการศึกษา พัฒนาระบบจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ ให้มีรูปลักษณ์ที่ทันสมัย สามารถปรับฟังชั่นการออกกำลังกายให้มากขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้มากขึ้น

2. ควรมีการศึกษาวิจัยเฉพาะจักรยานออกกำลังกายปั่นไฟ แบบอิสระที่นำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งานประเภทอื่นๆ เช่น ชาร์จประจุแบตเตอรี่ ชาร์จโทรศัพท์เป็นต้น

3.ควรศึกษา ความคุ้มทุนในการลงทุนระบบและศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้จริงในระดับครัวเรือนหรือระดับชุมชน

8.กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้รับการสนับสนุนหลายฝ่าย อาทิ องค์การบริหารส่วนตำบลท่าลาดสนับสนุนพื้นที่ติดตั้งระบบทดสอบในการเก็บรวมข้อมูล สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง สนับสนุนทางวิชาการ ทั้งให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่อการวิจัย ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การส่งเสริมและสนับสนุนการทำวิจัยผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

9.เอกสารอ้างอิง

[1] นันท์ ภักดี,คมสัน หุตะแพทย์และณัฐภูมิ สุดแก้ว. (2556).ผลิตไฟฟ้าใช้เองด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: บริษัท ออฟเซ็ทพลัส จำกัด.

[2] วิสาขา ภู่จินดา. 2552. การประยุกต์หลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงในการจัดการพลังงานในระดับชุมชน.วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม.

[3] [5] นราพร พ่วงพรพิทักษ์.(2556).เทคโนโลยีระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.พิมพ์ครั้งที่ 1.ขอนแก่น: ขอนแก่นการพิมพ์.

[4] วิษณุ ทองสัมฤทธิ์,ทศพล ทั่งรอด.(2552).รถจักรยานไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วย Brushless DC Motor.คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[6] ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์ และคณะ.(2550).การพัฒนาโจทย์วิจัยและข้อเสนอโครงการวิจัยเรื่องพลังงานทางเลือกเพื่อการพึ่งพาตนเองในชุมชน.ม.ท.ป. : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

ศึกษาความเป็นไปได้ของการเลี้ยงปลาหมอในระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกในระดับชุมชน

Feasibility Study of Climbing Perch Culturing in Water Circulation System Using Solar Cells as Alternative Energy for Community Level

จุฑาภรณ์ ชนะถาวร[1*] และอดิศร กวาวสิบสาม[2]

Juthaporn Chanathawon[1*] and Adison Kwawsibsam[2]

[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 ม.4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290
[2]วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
98 ม. 8 ต. ป่าป้อง อ. ดอยสะเก็ด จ. เชียงใหม่ 50220
[*]E-mail: winchana.jc@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกในระบบหมุนเวียนน้ำสำหรับเลี้ยงปลาหมอไทย ทั้งนี้เพื่อประหยัดพลังงานและเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับชุมชน ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำ ทำการทดลองในบ่อซีเมนต์ ระยะเวลาการทดลอง 180 วัน ประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 2 แผง แผงละ 75 วัตต์ 4.4 แอมแปร์ ติดตั้งปั๊มโซล่าเซลล์แบบแช่ 12 โวลต์ 3 แอมแปร์ จำนวน 1 ตัว ติดตั้งท่อพีวีซี เพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำด้วยอัตราการไหล 1,500 ลิตรต่อชั่วโมง จากการทดลองพบว่าสามารถใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าได้ 24.86 หน่วย การประหยัดน้ำคิดเป็นร้อยละ 76.92 ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาหมอที่มีการเพาะเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำให้ค่าน้ำหนักของปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) และอัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) คือ 171.81 ± 0.22, 3.15 ± 0.05 และ 90.00 ± 0.90 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าที่สูงกว่าระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำ จากการทดลองการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกเพื่อใช้ในระบบหมุนเวียนน้ำสามารถใช้เป็นแนวทางในการเพาะเลี้ยงปลาหมอในบ่อซีเมนต์ให้กับชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Abstract

This research article presents a result of using solar cells as alternative energy in water circulation system for climbing perch culturing. This is for studying the energy saving and possibility of installation as alternative energy for community compared with the case of traditional system (no water circulation system). The experiment was carried out in concrete pond with 180 days of climbing perch culturing. Two solar panels of 75 watts and 4.4 amperes were used to apply as alternative energy source. A solar pump (DC) with 12 volts and 3 ampere was installed in water circulation system. PVC pipe was set for water circulation system in order to circulate the water with a flow rate of 1,500 liters per hour. The results show that solar cells can apply for energy instead of using electricity from the utility power of 24.86 units and water saving of 76.92 percentages. It was found that climbing perch culturing in water circulation system, weight gain (g) specific growth rate (percentage/day), and survival rate (percentage/day) were 171.81 ± 0.22, 3.15 ± 0.05 and 90.00 ± 0.90, respectively that were better than the control experiment. The results confirm that the application of solar cells as alternative energy sources for water circulation systems can be effectively used for climbing perch culturing in the concrete pond for the community.

คำหลัก: ปลาหมอ, การไหลเวียนของน้ำ, เซลล์แสงอาทิตย์, พลังงานทางเลือก

Keywords: Climbing perch, Water circulation, Solar cells, Alternative energy

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศทางด้านเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางด้านการเพาะปลูก เลี้ยงสัตว์และการประมง โดยเฉพาะปลาน้ำจืดซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนและเป็นสินค้าส่งออกของประเทศ ปลาที่นิยมเลี้ยงมีอยู่ 2 กลุ่ม คือปลากินพืช เช่น ปลานิลแดง ปลาสลิด ปลาสวาย และปลากินเนื้อ เช่น ปลาดุก ปลาช่อน และปลาหมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาหมอไทยนั้นถือได้ว่าเป็นปลาน้ำจืดที่รู้จักกันแพร่หลายและกำลังได้รับความนิยมในการบริโภคมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นปลาที่มีรสชาติดี เนื้อแน่น ถือเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของไทยชนิดหนึ่งและสามารถพบได้ทุกภาคของประเทศ ปลาหมอไทยมีชื่อเรียกแตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่น เช่น ปลาหมอไทย ปลาสะเด็ด และปลาแข็ง โดยธรรมชาติอาศัยอยู่ในแม่น้ำ หนอง บึง และแหล่งน้ำทั่วไป สามารถประกอบอาหาร เช่น ทอด ย่าง และนึ่ง หรือแปรรูปผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น ทำปลาเค็ม ปลาตากแห้ง และอื่นๆ จึงเป็นที่ต้องการของท้องตลาด

ปลาหมอไทย (*Anabas testudineus*) เป็นปลาที่กินสัตว์น้ำที่มีขนาดเล็กกว่า มีพฤติกรรมการกินอาหารที่ผิวน้ำและกลางน้ำ การฟักไข่เป็นตัวของปลาหมอไทยแบ่งเป็น ระยะ 3 วันแรก ลูกปลาจะมีถุงอาหาร และจะใช้ถุงอาหาร (Yolk sac) เพื่อเป็นอาหาร หลังจากนั้นจะเริ่มกินอาหารมีชีวิตที่มีขนาดเล็กๆ ขนาดที่ลูกปลาสามารถกินได้ ได้แก่ โปรโตซัว โรติเฟอร์ ไรแดง และลูกน้ำ เป็นอาหาร (สมพงษ์ และคณะ, 2546) หลังจากฟันปลาพัฒนาสมบูรณ์แล้ว จึงสามารถกินอาหารที่มีชีวิตที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ ตัวอ่อนแมลง สัตว์หน้าดินลูกกุ้งและลูกปลาวัยอ่อน ตลอดจนอาหารสำเร็จรูป ตามนิสัยการกินอาหารของปลาหมอ จะกินอาหารอย่างว่องไว ปริมาณเยอะ ตะกละและพฤติกรรมการกินอาหารจะกินอาหารภายในเวลา 20 - 30 นาที (สมพงษ์, 2542)

การเลี้ยงปลาหมอไทยส่วนใหญ่แล้วเกษตรกรจะทำการเพาะเลี้ยงในบ่อธรรมชาติหรือบ่อดิน ในเชิงพาณิชย์หรือเชิงธุรกิจจะทำการอนุบาลลูกปลาในคอกที่ทำด้วยมุ้งก่อนย้ายลงบ่อดิน เพื่อให้ได้ลูกปลาที่สมบูรณ์แข็งแรง และมีอัตราการรอดตายสูง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งระบบเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนแบบทำน้ำพุหรือการติดสปริงเกอร์ (ศราวุธ, 2547; ไชย, 2547; สมเจตน์, 2549)

สำหรับการเลี้ยงปลาหมอไทยในแหล่งน้ำธรรมชาตินั้นทำให้จำนวนของปลาหมอในปัจจุบันลดน้อยลง เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมแหล่งน้ำธรรมชาติเสื่อมโทรมมากขึ้น หรือการนำน้ำจากแหล่งน้ำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางด้านอื่น จึงส่งผลให้ราคาของปลาหมอสูงขึ้น จากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้การเลี้ยงปลาหมอในแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นวิธีการที่ได้ผลผลิตต่ำ และต้องใช้เนื้อที่ในการเลี้ยงที่มีบริเวณกว้างประกอบกับราคาที่ดินสูงขึ้น ทำให้พื้นที่การเลี้ยงปลาลดลง ปัจจุบันมีการประยุกต์การเลี้ยงปลาหมอกันในรูปแบบต่างๆ เช่น การเลี้ยงปลาหมอในกระชัง การเลี้ยงปลาหมอในบ่อพลาสติก ซึ่งกำลังได้รับความนิยมมากขึ้น และการเลี้ยงปลาหมอในบ่อซีเมนต์เหมาะสำหรับผู้เลี้ยงที่มีพื้นที่จำกัด กำลังได้รับความนิยมในวงกว้าง เพราะสามารถดูแลง่าย สามารถเคลื่อนย้ายบ่อได้ง่าย และการทำไม่ยุ่งยาก ได้เริ่มมีการเพาะเลี้ยงปลาหมอไทยในระบบการเลี้ยงแบบบ่อซีเมนต์ในเชิงธุรกิจ เพื่อจำหน่ายปลาเนื้อหรือเพื่อจำหน่ายลูกปลา การเลี้ยงปลาในบ่อซีเมนต์นั้นจะต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกเป็นระยะ เพื่อป้องกันการเน่าเสียของน้ำ และยังส่งผลให้ปลาเจริญเติบโตดีขึ้นเนื่องจากปลาจะมีการกินอาหารที่ดีขึ้น น้ำที่เปลี่ยนถ่ายนั้นจะต้องมีคุณภาพของน้ำที่ไม่แตกต่างจากน้ำในบ่อเดิมมากนัก และจะต้องเป็นน้ำที่สะอาดไม่ทำให้ปลาในบ่อเป็นโรค รวมถึงการเพิ่มอากาศภายในบ่อ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตมีค่าสูงขึ้น สิ้นเปลืองการใช้พลังงานในระบบการเติมอากาศ

ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า เพื่อทดแทนพลังงานจากฟอสซิล เป็นพลังงานสะอาด ปราศจากมลพิษ พบว่าประเทศไทยมีศักยภาพการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์สูงถึง 554,071 พันตัน

เทียบเท่าน้ำมันดิบ (DEDE, 2012) และในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาระบบหมุนเวียนน้ำในระบบการเลี้ยงในบ่อซีเมนต์โดยการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย โดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำในระบบ เปรียบเทียบกับบ่อซีเมนต์ที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ (ชุดควบคุม) ซึ่งมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นระยะ ศึกษาปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้ทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า คำนวณปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในเปลี่ยนถ่ายเพื่อใช้ในการเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการทดลอง เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลา และวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากระบบการเลี้ยงปลาตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 180 วัน จุดประสงค์เพื่อนำผลจากการทดลองมาใช้เป็นแนวทางในการนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเลี้ยงปลาเพื่อจะช่วยประหยัดไฟฟ้า และการลดปริมาณน้ำในการเปลี่ยนถ่าย สำหรับเกษตรกรเพาะเลี้ยงปลาหมอไทยหรือชุมชนที่สนใจต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำในบ่อเลี้ยงปลาชนิดบ่อซีเมนต์

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยในระบบหมุนเวียนน้ำเปรียบเทียบกับระบบควบคุม

3. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำในระบบการเลี้ยงปลาชนิดบ่อซีเมนต์

4. เพื่อศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ในการเปลี่ยนถ่ายและคุณภาพน้ำจากระบบการเพาะเลี้ยงปลา

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่างที่ต้องคำนึงถึงและหากมีการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดในบ่อปิดนั้นจะเห็นได้ว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen, DO) ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญในลำดับต้นๆ ที่ต้องคำนึงถึงเนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำโดยตรงและเกี่ยวข้องกับการเติบโตของสัตว์น้ำในบ่อเพาะเลี้ยงหากในระบบไม่มีออกซิเจนไหลเวียนจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอต่อกระบวนการหายใจของสัตว์น้ำ รวมถึงกลุ่มจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนเพื่อกระบวนการย่อยสลายของเสียอินทรีย์ในน้ำ ส่งผลให้น้ำในบ่อมีคุณภาพดีและลดการเน่าเสียของน้ำ (Lin and Yi, 2003) การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำควรมีค่าไม่น้อยกว่า 3 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร (Hongprasith et al., 2012) หากมีค่าต่ำกว่าค่าดังกล่าวจะทำให้เกิดการขาดออกซิเจนและส่งผลให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตช้า หรืออาจทำให้สัตว์น้ำตายได้ เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาจึงหาวิธีการเพื่อลดการเน่าเสียของน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำ ทำให้ต้นทุนการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดสูงขึ้น

วิธีการเติมอากาศโดยใช้อุปกรณ์หรือเครื่องเติมอากาศ เช่น 1. การใช้อุปกรณ์เติมอากาศแบบใช้ใบพัดเหมาะกับบ่อเลี้ยงขนาดใหญ่และเสียค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานสูง 2. ระบบเติมอากาศโดยใช้อีเจคเตอร์ ที่ใช้ปั๊มน้ำดูดให้น้ำและอากาศผสมกันก่อนที่จะพ่นจ่ายอากาศ 3. การเติมอากาศที่สามารถจ่ายอากาศเป็นฟองขนาดเล็ก (Liquid film) (มะลิวัลย์ คุตะโค, 2555) ซึ่งการจ่ายอากาศด้วยวิธีการนี้มักเกิดปัญหาการอุดตันและทำความสะอาดได้ยาก จะเห็นได้ว่าวิธีการเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำดังที่กล่าวมาทำให้ต้นทุนในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต้องสูญเสียไปกับระบบการเติมอากาศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการเติมอากาศที่มีระบบการเพิ่มออกซิเจนที่ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์มากมายนัก ติดตั้งและใช้งานได้ง่าย คือ การเติมอากาศโดยอาศัยการไหลเวียนของน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดในระดับชุมชน

3.2 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภท

หมุนเวียนที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน สำหรับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้นกำลังเป็นที่นิยมในประเทศไทย เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานของภาครัฐตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ทั้งในระดับชุมชนรวมถึงระดับอุตสาหกรรม สำหรับใช้เป็นพลังงานเพื่อทดแทนพลังงานสิ้นเปลืองที่มีอยู่อย่างจำกัดและมีแนวโน้มจะหมดไปในอนาคต เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่าง ๆ (European Photovoltaic Industry Association, 2011)

ประเภท	Crystalline silicon		Thin film	
	Mono	Multi	a-Si	CdTe
ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์	16-22 %	14-16 %	4-7 %	8-10 %
ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์	13-19%	12-15 %		
พื้นที่รวม/kW	~7 m^2	~8 m^2~	~15 m^2	~11 m^2

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์สามารถติดตั้งและใช้งานได้ง่าย ต้นทุนไม่สูงมากนัก เหมาะแก่การใช้งานในครัวเรือนหรือชุมชน คือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานโดยไม่จำเป็นต้องมีระบบสายส่งไฟฟ้า สามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หลอดไฟ ปั๊มน้ำหรืออุปกรณ์ประเภทมอเตอร์ต่างๆ ระบบสำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการเก็บประจุ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ศึกษาปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาหมอไทยในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากระบบจ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า

4. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 การเตรียมพันธุ์ปลา

พันธุ์ปลาที่ใช้เป็นปลาหมอไทยพันธุ์ชุมพร 1 ขนาด 0.80 เซนติเมตร น้ำหนัก 0.60 ± 0.01 กรัม จำนวน 50 ตัวต่อหนึ่งบ่อซีเมนต์ ก่อนการทดลองทำการชั่งน้ำหนักรวมของลูกปลาเพื่อหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของลูกปลาแต่ละตัว และเตรียมอาหารสำเร็จรูปโปรตีน 30% โดยให้อาหารในอัตรา 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักตัวต่อวัน) ทุกวัน วันละ 2 ครั้ง ปรับปริมาณอาหารทุก 15 วัน

4.2 การเตรียมบ่อทดลอง

ใช้บ่อซีเมนต์กลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ทำการเตรียมบ่อซีเมนต์สำหรับเลี้ยงปลาโดยนำต้นกล้วยมาสับเป็นชิ้นเล็กๆ นำมูลวัวมาผสมคลุกเคล้า ใส่ในบ่อและเติมน้ำให้เต็มบ่อ หมักทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นเปิดน้ำทิ้งและเอาต้นกล้วยสับออกจากบ่อ นำน้ำสะอาดใส่ในบ่อแช่น้ำทิ้งไว้ 1 วัน และปล่อยน้ำทิ้ง ล้างบ่อซีเมนต์ด้วยน้ำสะอาด ตากบ่อให้แห้งอีก 1 สัปดาห์ เติมน้ำในบ่อซีเมนต์ปริมาตรรวม 160 ลิตร

4.3 การเตรียมบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน

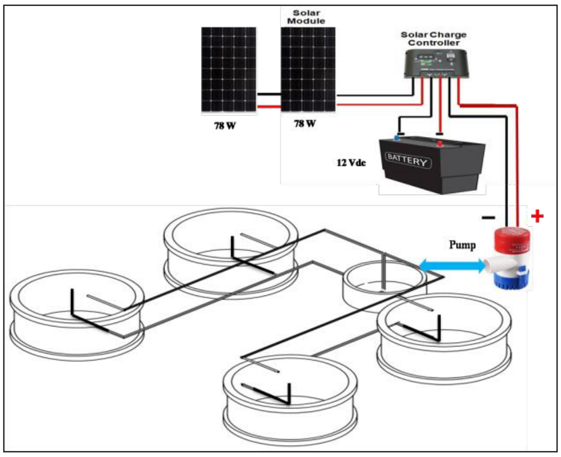
ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ใช้สำหรับติดตั้งกับบ่อซีเมนต์เลี้ยงปลาเพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำ ทำการเจาะรูท่อเพื่อใช้ในการหมุนเวียนของน้ำ และติดตั้งระบบกรองน้ำไหลเวียน แสดงดังรูปที่ 1(ก) และ 1(ข) ทำการติดตั้งท่อน้ำทิ้งบริเวณด้านข้างบ่อ ติดตั้งปั๊มน้ำแบบแช่โซล่าเซลล์ Gphad1100-4M 12 โวลต์ ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ 36 วัตต์ จำนวน 1 ตัว แบตเตอรี่เก็บประจุไฟฟ้า 12 โวลต์ 50 แอมแปร์ จำนวน 1 ตัว แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 75 วัตต์ 4.4 แอมแปร์ จำนวน 2 แผง ต่อแบบขนาน ทำการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้เซลล์

แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน แสดงดังรูปที่ 2 ทำการทดลองเปรียบเทียบกับบ่อซีเมนต์ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ (ชุดควบคุม)

(ก)

(ข)

รูปที่ 1 แสดงระบบหมุนเวียนน้ำไหลผ่านท่อพีวีซี ภาพถ่ายด้านหน้า (ก) และภาพถ่ายด้านข้าง (ข)



รูปที่ 2 ไดอะแกรมการทดลองระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน

ขั้นตอนในการปล่อยลูกปลาลงบ่อ โดยการแช่ถุงปลาไว้ในบ่อประมาณ 10 – 15 นาที เพื่อปรับอุณหภูมิระหว่างน้ำในถุงและน้ำในบ่อให้มีความใกล้เคียงกันเพื่อป้องกันลูกปลาเกิดอาการน็อคน้ำ ทำการทดลองเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงแบบหมุนเวียนน้ำตลอดเวลาด้วยอัตราการไหลของน้ำ 1,500 ลิตรต่อชั่วโมง โดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน และหยุดการหมุนเวียนน้ำในระบบหมุนเวียนน้ำในช่วงที่มีการให้อาหารปลา (ให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน) ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำเดือนละครั้ง ปริมาตรการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 ส่วนใน 4 ส่วนของปริมาตรน้ำทั้งหมด และระบบการเลี้ยงแบบไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำซึ่งมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกๆ 1 สัปดาห์ ปริมาตรการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 ส่วนใน 4 ส่วนของปริมาตรน้ำทั้งหมด ทำการทดลองตัวอย่างละ 4 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ยของการทดลอง

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยพันธุ์ชุมพร 1

ทำการชั่งน้ำหนักลูกปลาและนับจำนวนแต่ละหน่วยการทดลองทุกๆ 15 วัน ตลอดการทดลองเป็นเวลา 180 วัน คำนวณค่าต่างๆ ดังสมการที่ (1) – (6)

1. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR, เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

$$= \frac{(\ln \text{นน.ปลาสุดท้าย} - \ln \text{นน.ปลาเริ่มต้น})}{\text{ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง}} \times 100 \qquad (1)$$

2. อัตราการรอดของปลา (Survival, เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}} \times 100 \qquad (2)$$

3. น้ำหนักปลาเฉลี่ย (กรัม)

$$= \frac{\text{นน.ของปลาที่สุ่มได้ทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนปลาทั้งหมด}} \qquad (3)$$

4. ขนาดของปลา (ตัว/กิโลกรัม)

$$= \frac{\text{1,000 กรัม}}{\text{นน.ปลาเฉลี่ย/ตัว (กรัม)}} \qquad (4)$$

5. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

= นน.ปลาเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง – นน.ปลาเริ่มต้น (5)

6. การเติบโตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น (กรัม/วัน)

$$= \frac{\text{นน.ปลาเฉลี่ยสุดท้าย–น้ำหนักปลาเฉลี่ยเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง}} \quad (6)$$

4.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ทำการตรวจสอบวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเบื้องต้นก่อนทำการทดลอง ผลจากการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2 จากตารางการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำพบว่าค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำเริ่มต้น อุณหภูมิ ค่าความขุ่นใส ความเป็นด่างรวมถึงความกระด้างของน้ำเป็นค่าที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด และทำการตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทุกวัน ได้แก่ ค่า pH และอุณหภูมิของน้ำ โดยใช้เครื่อง pH meter (IndexID1000) เก็บข้อมูลตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 180 วัน และทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) หลังการเพาะเลี้ยง ด้วยเครื่อง Oxygen meter

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำเบื้องต้น

คุณสมบัติของน้ำ	ค่าคุณสมบัติของน้ำ
อุณหภูมิน้ำ	28.5 องศาเซลเซียส
ความขุ่นใส	40 เซนติเมตร
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	114 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความกระด้าง (Hardness)	81 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	7.5 ± 0.1

4.6 การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า คำนวณได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า แสดงดังสมการที่ (8)

$$P = VI \quad (7)$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า หน่วยมาตรฐาน (วัตต์)
E = แรงดันไฟฟ้า หน่วยมาตรฐาน (โวลต์)
I = กระแสไฟฟ้า หน่วยมาตรฐาน (แอมแปร์)

4.7 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเปลี่ยนถ่าย

สำหรับบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำ ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกๆ 1 เดือน โดยการเปลี่ยนถ่าย 3 ส่วนใน 4 ส่วน และบ่อซีเมนต์ที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำจากบ่อทุก 1 สัปดาห์ โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ปริมาตร 3 ส่วน ใน 4 ส่วน ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

5. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

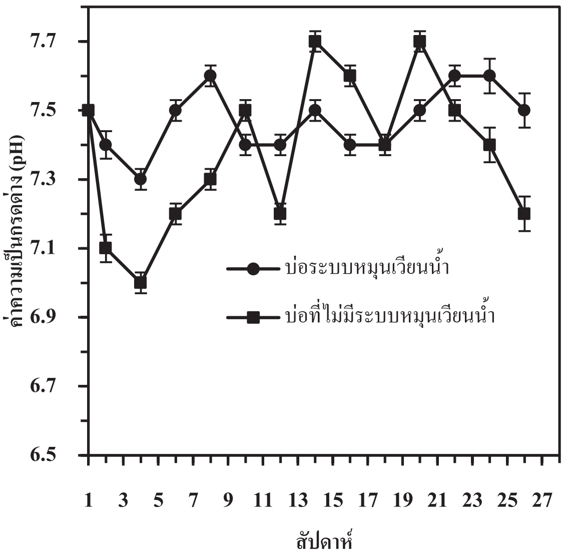
จากการทดลองการเลี้ยงปลาหมอไทยพันธุ์ชุมพร 1 ในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทางเลือก เปรียบเทียบกับระบบการเลี้ยงแบบไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ แต่ใช้วิธีการเปลี่ยนถ่ายน้ำจากบ่อซีเมนต์ทุก 1 สัปดาห์ ระยะเวลาการเลี้ยง 180 วัน ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด คำนวณได้จากการทำงานของปั๊มน้ำ 12 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ จำนวน 1 ตัว จากสูตรการคำนวณดังสมการที่ (7) ในช่วงที่มีการให้อาหารจะหยุดการทำงานของปั๊มน้ำเป็นเวลา 30 นาที ให้อาหารจำนวน 2 ครั้งต่อวัน คำนวณการใช้ไฟฟ้า 23 ชั่วโมงต่อวัน ในแต่ละเดือนคิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวม 24.84 หน่วย ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง แสดงเป็นค่าผลการประหยัดไฟฟ้ารวมต่อเดือน คำนวณราคาต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้าในอัตราก้าวหน้า คิดเป็น 43.83 บาทต่อเดือน เป็นการใช้พลังงานทดแทน เพื่อช่วยประหยัดรายจ่ายค่าไฟฟ้าแทนการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า

ปริมาณการใช้น้ำสำหรับการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อซีเมนต์ในระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน ทำการเลี้ยงโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากบ่อเลี้ยง 3 ส่วนใน 4 ส่วน และเติมน้ำในบ่อเท่าปริมาตรเดิม ทุกๆ 1 เดือน ระยะเวลาการเลี้ยง 180 วัน หรือ 6 เดือน คิดเป็นปริมาณน้ำสิ้นเปลืองจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงทั้งสิ้น 720 ลิตร เปรียบเทียบกับปริมาณการใช้น้ำสิ้นเปลืองในการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 ส่วนใน 4 ส่วน ทุกๆ 1 สัปดาห์ ระยะเวลาการเลี้ยง 180 วัน คิดเป็นปริมาณน้ำสิ้นเปลืองจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงทั้งสิ้น 3,120 ลิตร คิดเป็นผลประหยัดได้ร้อยละ 76.92 ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง

ทำการตรวจสอบวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำจากการเลี้ยงปลาจากบ่อซีเมนต์ระบบ

หมุนเวียนน้ำและบ่อที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ พบว่าค่า pH เริ่มต้นของน้ำ มีค่า 7.5 ± 0.1 ซึ่งถือว่าคุณภาพของน้ำมีความเหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด ซึ่งอยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539) หลังจากทดลองเลี้ยงในช่วงแรกการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำในบ่อ พบว่า pH มีค่าลดลงในระบบการเลี้ยงทั้ง 2 ระบบ แต่ค่า pH ในบ่อที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ มีค่า pH ต่ำกว่าบ่อซีเมนต์ที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ และ pH จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบทั้ง 2 ระบบ ค่า pH ของน้ำในระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำมีค่าลดลงต่ำสุดถึง 6.8 ± 0.1 แสดงถึงสภาวะเป็นกรดของน้ำเพิ่มขึ้น และมีค่า pH สูงสุดที่ 7.8 ± 0.1 สำหรับระบบหมุนเวียนน้ำมีค่า pH ค่อนข้างคงที่ในช่วง 7.3 - 7.6 แต่อย่างไรก็ตามระบบการเพาะเลี้ยงปลาหมอไทยในบ่อซีเมนต์ทั้ง 2 ระบบค่า pH ของบ่อระบบหมุนเวียนน้ำและบ่อที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำตลอดการทดลอง ยังคงเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงหมอไทย และไม่ก่อให้เกิดมลพิษสอดคล้องตามคู่มือการประเมินน้ำทิ้งและปริมาณมลพิษจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) รูปที่ 3 แสดงค่า pH เฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ในบ่อระบบหมุนเวียนน้ำและบ่อที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ พบว่าบ่อที่มีระบบหมุนเวียนน้ำค่า pH ลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น และเมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำส่งผลให้ค่า pH เพิ่มสูงขึ้น ความแตกต่างของค่า pH ในแต่ละสัปดาห์ค่อนข้างคงที่ น้ำมีกลิ่นคาวเล็กน้อย แตกต่างจากน้ำในระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำ น้ำมีกลิ่นเหม็นที่รุนแรงกว่าและสีของน้ำค่อนข้างเข้มกว่าในระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำ

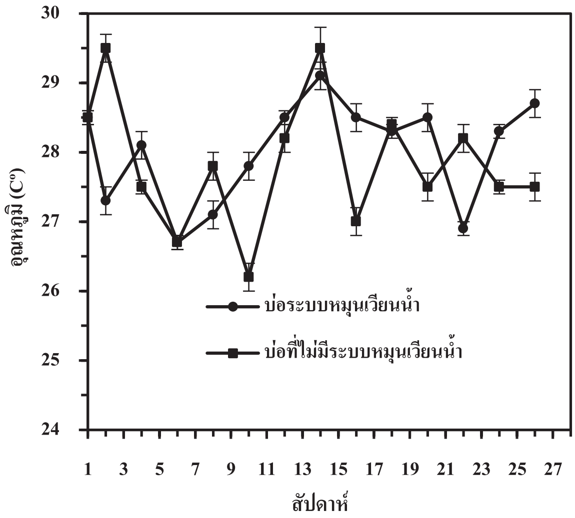
จากการศึกษาผลของอุณหภูมิของน้ำจากการเลี้ยงปลาจากบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำและบ่อที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ พบว่าอุณหภูมิของน้ำจากบ่อที่มีการหมุนเวียนน้ำความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละวันค่อนข้างคงที่ แตกต่างจากระบบที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำอุณหภูมิในแต่ละวันแตกต่างกันค่อนข้างสูง จากรูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ในบ่อซีเมนต์ระบบไหลเวียนน้ำและไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ พบว่า อุณหภูมิของน้ำตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง อุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 26.7 – 29.5 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิต่ำสุด 26.7 ± 0.1 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิของน้ำในระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำ และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมีความแตกต่างกันในแต่ละสัปดาห์



รูปที่ 3 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ของน้ำจากการเลี้ยงปลาในบ่อซีเมนต์

จากการเก็บข้อมูลปลาหมอ แสดงดังรูปที่ 5 และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย จากการเพาะเลี้ยงในบ่อแบบไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำและบ่อที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 180 วัน แสดงดังตารางที่ 3 จากการทดลองพบว่า น้ำหนักของปลาหมอหลังการเพาะเลี้ยงในบ่อที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ มีค่าน้ำหนักสุดท้ายมากกว่าน้ำหนักปลาหมอในระบบการเลี้ยงที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำคิดเป็น 14.08 เปอร์เซ็นต์ จากการชั่งน้ำหนักของปลาหมอที่เพิ่มขึ้นในระบบหมุนเวียนน้ำ พบว่ามีค่าเท่ากับ 171.81 ± 0.22 กรัมต่อตัว และน้ำหนักของปลาหมอที่เพิ่มขึ้นในระบบการเลี้ยงที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ มีค่าเท่ากับ 147.62 ± 0.16 กรัมต่อตัว สอดคล้องกับค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาหมอในระบบหมุนเวียนน้ำมีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำคิดเป็น 2.86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาหมอในระบบการเลี้ยงในบ่อ

ซีเมนต์ในระบบหมุนเวียนน้ำและบ่อที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำมีค่า 3.15 ± 0.05 และ 3.06 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ การหมุนเวียนน้ำในระบบทำให้ปลากินอาหารได้ดีขึ้น ส่งผลให้มีผลต่อการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นตามมา



รูปที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละสัปดาห์ของน้ำจากการเลี้ยงปลาในบ่อซีเมนต์

เมื่อศึกษาการเติบโตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน พบว่าการเติบโตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมีค่า 0.96 ± 0.07 และ 0.82 ± 0.05 กรัมต่อวัน ในระบบหมุนเวียนน้ำและระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำ ตามลำดับ เนื่องจากการหมุนเวียนน้ำ มีการเคลื่อนไหวของน้ำตลอดเวลา ทำให้ปลามีการกินอาหารที่ดีกว่าระบบน้ำนิ่ง ส่งผลให้การเติบโตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นของปลาหมอที่มีการเพาะเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำมีค่าสูงกว่าระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำ และขนาดของปลาต่อกิโลกรัมประมาณ 6 ตัว ในระบบการเลี้ยงแบบมีการหมุนเวียนน้ำ ส่วนในระบบการเลี้ยงที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำขนาดของปลาต่อกิโลกรัมประมาณ 7 ตัว จากการทดลองตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยงปลาหมอ 180 วัน ศึกษาอัตราการรอดตายของปลาในการเพาะเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำมีค่าร้อยละ 90.0 ± 0.90 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การรอดตายสูงกว่าการเลี้ยงแบบไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำประมาณร้อยละ 8.89

รูปที่ 5 การเก็บข้อมูลปลาหมอ

จากการศึกษาคุณภาพของน้ำในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำ และบ่อที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ เป็นเวลา 180 วัน พบว่า ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ของระบบหมุนเวียนน้ำมีค่าสูงกว่าระบบที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ คือ 4.83 และ 3.02 ตามลำดับ การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในระบบการหมุนเวียนน้ำทำให้น้ำมีการเคลื่อนที่ไหลวน และไหลผ่านระบบกรองของเสียอินทรีย์ ทำให้มีปริมาณของออกซิเจนละลายในน้ำสูงซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการหายใจของปลา ปริมาณออกซิเจนมากกว่าระบบน้ำนิ่ง มีผลต่ออัตราการรอดของปลา และยังส่งผลทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการกินอาหารเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยจากการเพาะเลี้ยงในบ่อที่มีระบบหมุนเวียนน้ำและบ่อที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ ระยะการเลี้ยงเวลา 180 วัน

พารามิเตอร์	บ่อที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ	บ่อที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัมต่อตัว)	0.60 ± 0.01	0.60 ± 0.01
น้ำหนักสุดท้าย (กรัมต่อตัว)	172.41 ± 0.21	148.22 ± 0.16
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว)	171.81 ± 0.22	147.62 ± 0.16
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)	3.15 ± 0.05	3.06 ± 0.03
การเติบโตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น (กรัมต่อวัน)	0.96 ± 0.07	0.82 ± 0.05
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	90.00 ± 0.90	82.00 ± 1.20
ขนาดของปลา (ตัวต่อกิโลกรัม)	5.80 ± 0.03	6.85 ± 0.07

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำในในบ่อซีเมนต์เพาะเลี้ยงปลาหมอไทยพันธุ์ชุมพร 1 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำ ใช้วิธีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นระยะ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 180 วัน การประยุกต์ใช้แผงเซลแสงอาทิตย์ สามารถประหยัดพลังงานทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าคิดเป็น 24.86 ปริมาณการประหยัดน้ำ คิดเป็นร้อยละ 76.92 ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง จากการทดลองวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำระหว่างทำการเพาะเลี้ยงทั้ง 2 ระบบ พบว่า ค่า pH และอุณหภูมิของน้ำยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลาหมอไทย ระบบที่มีการไหลเวียนของน้ำส่งผลให้ปลากินอาหารได้ดีขึ้น ทำให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว) การเติบโตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น (กรัมต่อวัน) และอัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำ คือ 3.15 ± 0.05, 171.81 ± 0.22, 0.96 ± 0.07 และ 90.00 ± 0.90 ตามลำดับ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบหมุนเวียนน้ำในการเพาะเลี้ยงปลาหมอไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการสนับสนุนอุปกรณ์และเอื้อเฟื้อสถานที่การวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2554). **คู่มือการประเมินน้ำทิ้งและปริมาณมลพิษจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.** สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. กรมควบคุมมลพิษ. กรุงเทพฯ. หน้า 67.

ไชย ส่องอาชีพ. (2547). **ปลาหมอไทยเลี้ยงง่ายขายคล่อง.** เทคโนโลยีชาวบ้าน. 12 (332) : 102-103.

มั่นสิน ตุซัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. (2539). **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 214.

ศราวุธ เจ๊ะโส๊ะ. (2547). **ชีววิทยาและเทคนิคการเพาะเลี้ยงปลาหมอไทยเชิงพาณิชย์.** สัตว์น้ำ : 27-130.

สมพงษ์ ดุลย์จินดาชบาพร. (2542). **การเจริญเติบโตของปลาหมอไทยวัยอ่อนที่ความหนาแน่นต่างกัน.** วารสารแก่นเกษตร. 27 (2) : 62-67.

สมพงษ์ ดุลย์จินดาชบาพร, พรชัย จารุรัตน์จามร และสำเนาว์ ข้องสาย. (2546). **การเลี้ยงปลาหมอไทยที่**

ความหนาแน่นต่างกัน. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: สาขาประมง. กรุงเทพฯ : 329-335.

สมเจตน์ ปัญจวาณิชย์. (2549). **ปลาหมอไทย**. เกษตรสยามบุ๊คส์, กรุงเทพฯ : 180-184.

Hongprasith, N., Charoenpittaya, T., Fusamae, D., Tanaka, J., Hikiji, Y., Kutako, M., Imai, T. and Painmanakul, P. (2012). **Study of alternative aeration system applied in aquaculture ponds**. The 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment November 21st-22nd.

Lin, C.K. and Yi, Y. (2003). **Minimizing environmental impacts of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud. Aquaculture**. 226 : 57-68.

มะลิวัลย์ คุตะโค. (2555). **การเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ**. [ออนไลน์ได้จาก] : http://marine.chanthaburi.buu.ac.th/research.pdf

Department of Alternative Energy Development and Efficiency [DEDE]. (2012). **ความเข้มแสง และศักยภาพเชิง พลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศ** [Solar radiation intensity and solar energy efficiency potential in Thailand]. Statistic Data. [ออนไลน์ได้จาก] : http://www.dede.go.th

European Photovoltaic Industry Association. (2011). **Solar photovoltaic electricity empowering the world**. [ออนไลน์ได้จาก] : http://epia.org/index

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบอัดไอ ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์คอมเพรสเซอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน สารทำความเย็น R22 สำหรับใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

An Efficiency Analysis of Vapor Compression System with R22 BLDC Rotary Compressor for using with Photovoltaic System

อนุวัฒน์ ขัดทะขันธ์ อนุวัฒน์ ยาวิลาศ วีระชาติ ขวดแก้ว เกษม ตรีภาค และ นพพร พัชรประกิติ*

AnuwatKhadthakun,AnuwatYawilas,WeerachatKuadkeaw,

KasemTreepakandNoppornPatcharaprakiti*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัด เชียงราย 57120

Rajamangala University of Technology Lanna Chiang rai 99 Village No.10 Sub-districtSaikowDistrictPhanProvince Chiang rai 57120

E-mail: ppnopporn@gmail.com ,เบอร์โทรศัพท์ 0830094349

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการทดสอบเครื่องปรับอากาศ ขนาด 12,000 BTU/Hrที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรงเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสสลับที่ใช้ตามบ้านทั่วไป เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในการทดสอบได้มีการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์กระแสตรง ที่ความเร็ว 2,500 , 2,850 , 3,200 และ 3,500 รอบต่อนาที เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์กระแสสลับและได้ตั้งค่าเทอร์โมสตรัทที่อุณหภูมิ25°Cในห้องทดสอบขนาด 1x1.5x1.8 เมตร ผลการทดลองพบว่า เครื่องปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรง ที่ความเร็ว 2,500 , 2,850 , 3,200 และ 3,500 รอบต่อนาที ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.42 , 0.61 , 0.64 และ 0.60 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับและเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์กระแสสลับทั่วไปใช้พลังพลังงานไฟฟ้า 0.79 กิโลวัตต์ชั่วโมง ทำให้เครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรงสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าและทำความเย็นได้ไวกว่า เครื่องปรับอากาศกระแสสลับทั่วไปซึ่งมอเตอร์คอมเพรสเซอร์กระแสตรงจะสามารถนำไปใช้กับแหล่งจ่ายของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรง

Abstract

This paper proposesan energy analysis of 12,000 BTU/Hr air conditioner. The BLDC and AC conventional compressor which general use for air conditioning in households are compared in term energy efficiency. To analyze the energy efficiency a BLDC compressor with variable speed control are test in 4 speeds follow as 2500, 2850, 3200 and 3500 rpm.and AC compressor in fix speed are also tested and compare with BLDC. The testing room are constructed with size 1 x 1.5 x 1.8 meters and controlroom temperatureat 25°C by use the thermostat sensor and send signal for magnetic on-off control. The results showed that Air conditioning compressor speed DC 2500, 2850, 3200 and 3500 rpm. Electrification 0.42, 0.61, 0.64 and 0.60 kWh. The alternator and air conditioning compressor used to power conventional electrical power 0.79 kWh. Make use of the air conditioning compressor DC motors can save energy and be more sensitive than cooling. Air conditioning AC General

คำหลัก:เครื่องปรับอากาศกระแสตรงไร้แปรงถ่าน, ประสิทธิภาพ, ระบบปรับอัตราการไหล เครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

Keywords:BLDC air conditioning, Energy Efficiency, Variable Refrigerant flow, Solar DC air condition

1.บทนำ

ปัจจุบันประเทศพบกับปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากมีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี 2559 วันที่ 11 พฤษภาคมเวลา 14.12 น. ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด หรือ พีค (Peak) อยู่ที่ 29,600.8 เมกะวัตต์ ทำลายตัวเลขการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในปีนี้ เมื่อเทียบกับปี 2558 ที่อุณหภูมิ 36.4 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงขึ้นจากกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อวันที่ 28 เมษายน 2559 ที่ 29,403.7 เมกะวัตต์ สาเหตุสำคัญมาจากการใช้ไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรม บริการ และบ้านอยู่อาศัยเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นวันทำงานปกติ ประกอบกับอากาศที่ร้อนอบอ้าวต่อเนื่อง ทำให้เกิดความร้อนสะสม โดยเฉพาะในช่วงบ่ายที่มีอากาศร้อนจัดจึงทำให้มีการใช้เครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานเป็นสัดส่วนมาก และกินพลังงานไฟฟ้ามาก และในช่วงเวลาบ่ายที่มีอุณหภูมิสูงอากาศร้อนชื้นทำให้เกิดสภาวะความต้องการไฟฟ้าสูงสุด จากสภาวะดังกล่าวพบว่าในช่วงเวลากลางวันเมื่ออุณหภูมิสูง ก็จะมีความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวสูงด้วยเช่นกัน โดยในงานวิจัย ได้มีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโหลดภาระเครื่องปรับอากาศและความเข้มแสงอาทิตย์ พบว่ามีความสัมพันธ์ที่สอดคล้อง [1-2] หากสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาปรับเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าและช่วยจ่ายโหลดในเวลาที่มีอุณหภูมิสูงได้ [3-6] ซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดของเครื่องปรับอากาศก็คือคอมเพรสเซอร์โดยปัจจุบันคอมเพรสเซอร์ที่ใช้กันมากในเครื่องปรับอากาศก็คือคอมเพรสเซอร์กระแสสลับชนิดที่ไม่สามารถปรับความเร็วรอบได้ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้สารทำความเย็น R22 และชนิดคอมเพรสเซอร์ที่นำมาใช้ชนิดโรตารี่และ Scroll [7]โดยทำการควบคุมด้วยเทอร์โมสตัส ที่ปรับตั้งค่าอุณหภูมิไว้ และทำงานแบบตัดต่อ (On-off Control) ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพต่ำและอากาศภายในห้องมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ จึงได้มีการพัฒนาคอมเพรสเซอร์มอเตอร์เหนี่ยวนำและใช้อินเวอร์เตอร์ปรับค่าความเร็วรอบเพื่อควบคุมการไหลสารทำความเย็นที่เรียกว่า VRF (Variable Refrigerant Flow) ทำให้ควบคุมอุณหภูมิได้อย่างต่อเนื่อง แต่ระบบนี้มีราคาสูง และการควบคุมค่อนข้างซับซ้อน และหากจะใช้ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะไม่สามารถใช้โดยตรงได้ ต้องมีชุดแปลงไฟฟ้าเป็นกระแสสลับอีกที ดั้งนั้นการใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านซึ่งมีข้อดีที่มีประสิทธิภาพสูงให้แรงบิดสูงในความเร็วรอบที่สูงเช่นกัน และสามารถปรับความเร็วรอบของอุปกรณ์ได้ ใช้ร่วมกับสารทำความเย็น R22 ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงระบบท่อน้ำยา ซึ่งต่างจาก R410Aที่มีค่าความดันน้ำยาสูงกว่า [8]ไม่สามารถนำมาทดแทนได้นอกจากนี้ชุดคอมเพรสเซอร์แนวโน้มราคาลดลง ติดตั้งง่าย และได้รับความนิยมสูงขึ้น [9-10] และได้มีโครงการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำระบบมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ ดังนั้นในโครงการนี้จึงมีแนวคิดที่ทำมาตรการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศโดยจะนำคอมเพรสเซอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน ชนิดสารทำความเย็น R22 มาดัดแปลงและเปลี่ยนแทนคอมเพรสเซอร์กระแสสลับชนิดสารทำความเย็น R22 และเปลี่ยนพัดลมเป็นกระแสตรง โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพ เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะระบบและอัตราการใช้พลังงานแต่ละช่วงความเร็วรอบของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะสามารถใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้โดยตรง ในบริเวณที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึงหรือเสถียรภาพไฟฟ้าไม่ดีและสามารถใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานเสริมให้ระบบได้อีกด้วย

2.วัตถุประสงค์

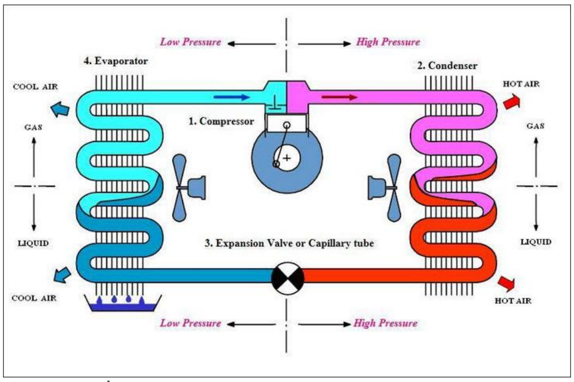
1.พัฒนาระบบคอมเพรสเซอร์แบบอัดไอ ชนิดสารทำความเย็น R22 ที่ใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน และ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ

2. เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้เป็นมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศด้วยคอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

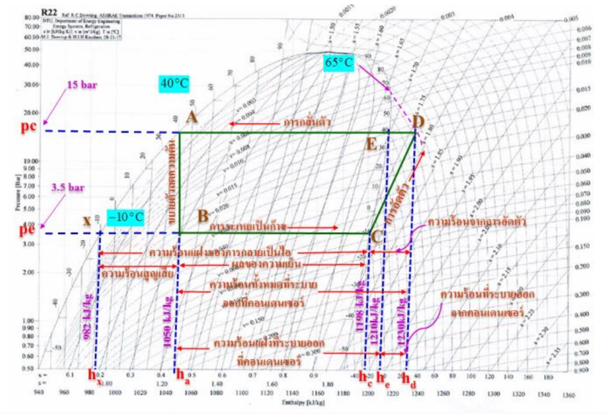
3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

หลักการของเครื่องปรับอากาศเริ่มจากการนำสารทำความเย็นในที่นี้ใช้ R22 มาทำการอัดด้วยเครื่องอัดสารทำความเย็นคือคอมเพรสเซอร์จะดูดน้ำยาในสภาพที่เป็นไอจากเครื่องระเหยเข้าทางด้านดูด(suction) ของคอมเพรสเซอร์และอัดออกให้มีความดันสูงขึ้นและส่งออกทางด้านส่ง (discharge) ของคอมเพรสเซอร์เข้าคอนเดนเซอร์น้ำยาภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงนี้เมื่อผ่านคอนเดนเซอร์จะถูกระบายความร้อนออกจนถึงจุดควบแน่นน้ำยาจะเปลี่ยนสถานะจากไอไปเป็นของเหลวตกลงด้านล่างของคอนเดนเซอร์และถูกส่งไปเข้ารีซีฟเวอร์ น้ำยาในสภาพที่เป็นของเหลวในรีซีฟเวอร์จะถูกส่งผ่านลิ้นลดความดันทำให้น้ำยาเกิดการขยายตัวความดันจะลดลงจนน้ำยาไม่สามารถคงสถานะเดิม (ของเหลว) จึงเปลี่ยนเป็นไอการเปลี่ยนสถานะของน้ำยาจากของเหลวเป็นไอขณะออกจากลิ้นลดความดันและตลอดช่วงที่ผ่านเครื่องระเหยนี้จะทำให้เกิดความเย็นขึ้นเนื่องจากของเหลวจะดูดความร้อนออกจากบริเวณรอบๆไปใช้เป็นความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะทำให้บริเวณรอบๆเครื่องระเหยเกิดความเย็นขึ้นเมื่อน้ำยาผ่านเครื่องระเหยจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอหมดและถูกคอมเพรสเซอร์ดูดและอัดให้มีความดันสูงขึ้นและถูกส่งไปใช้งานในวงจรหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดไปโดยน้ำยาจะไม่สูญหาย



รูปที่ 1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ[11]



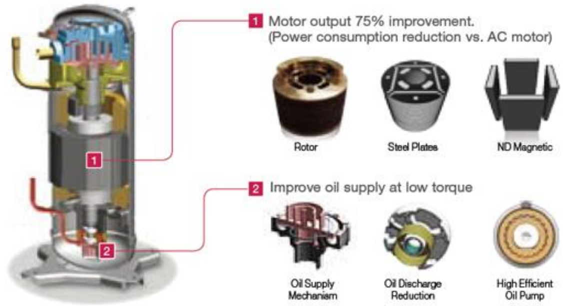
รูปที่ 2 ไดอะแกรมความดันและเอนทาลปี R22[12]

3.2 มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบไร้แปรงถ่าน มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบไร้แปรงถ่านมีความเหมาะสมสำหรับงานเครื่องปรับอากาศกระแสตรงที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ และมีประสิทธิภาพสูงและสามารถใช้พลังงานไฟฟ้ากระตรงจากแบตเตอรี่หรือเซลล์แสงอาทิตย์ได้ คุณสมบัติมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบไร้แปรงถ่านเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่น เช่นประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำมากกว่า 5-10% และคุณสมบัติด้านอื่น แสดงดังตารางที่1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์

คุณสมบัติ	BLDC	Brushed	AC Induction
การบำรุงรักษา	ไม่มี	ทุกช่วงเวลา	ไม่มี
อายุการใช้งาน	ยาว	สั้น	ยาว
ประสิทธิภาพ	สูง	ปานปลาง	ปานกลาง
กำลังต่อน้ำหนัก	สูง	ต่ำ	ปานกลาง
ความเฉื่อย	ต่ำ	สูง	สูง
เสียง	เงียบ	ดัง	เงียบ
ราคา	สูงแต่มีแนวโน้มลดลง	ปานปลาง	ต่ำ
การควบคุม	ซับซ้อน	ง่าย	ง่าย/ซับซ้อน

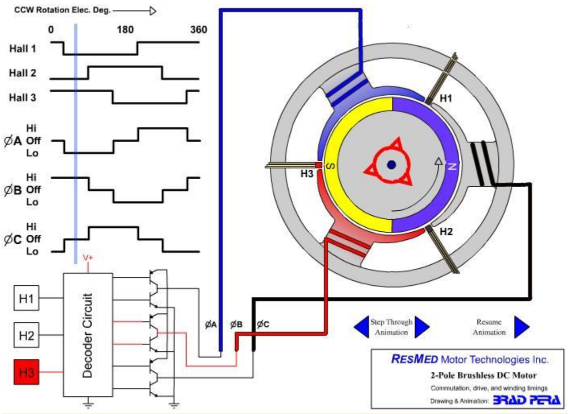
สำหรับโครงสร้างของมอเตอร์แสดงดังรูปที่3 และคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี่ที่นิยมนำมาใช้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบไร้แปรงถ่านที่มีในเชิงพาณิชย์ แสดงดังรูปที่ 3และ 4



รูปที่ 3 โครงสร้างคอมเพรสเซอร์ Rotary BLDC [13]

รูปที่ 4 คอมเพรสเซอร์ Rotary BLDC เชิงพาณิชย์[13]

ในส่วนของการควบคุมมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบไร้แปรงถ่าน จะใช้เทคนิคการควบคุมสัญญาณพัลส์ โดยโครงสร้างวงจรกำลังแบบอินเวอร์เตอ์สามเฟสที่มีการตรวจวัดความเร็วรอบและตำแหน่งของโรเตอร์และนำมาป้อนให้กับระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลสัญญาณและสวิตซ์สั่งการให้โรเตอร์หมุนปรับความเร็วรอบ ดังแสดงในรูปที่ 5และรูปที่ 6เป็นตัวอย่างคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี่ที่ใช้มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านขับเคลื่อน ที่นำมาใช้ในเครื่องปรับอากาศสำหรับโครงการวิจัยนี้ และสามารถนำแบตเตอรี่หรือแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ป้อนให้กับชุดปรับอากาศกระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 5 หลักการทำงานชุดขับคอมเพรสเซอร์ BLDC [14]

รูปที่ 6 โครงสร้างและชุดขับคอมเพรสเซอร์ BLDC

รูปที่ 7ระบบปรับอากาศกระแสตรงแสงอาทิตย์[13]

3.3 การตรวจวัดเพื่อหาประสิทธิภาพและอัตราการใช้พลังงาน สามารถตรวจวัดความต้องการไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์พัดลมที่แฟนคอยล์และคอนเดนเซอร์ได้จากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าโดยตรงในขณะที่เครื่องปรับอากาศกำลังทำงานดังนั้นในการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวรายการเครื่องมือวัดที่จำเป็นได้แก่ Power Meter หรือ kW Meter, Thermometer (เครื่องมือวัดอุณหภูมิ), Anemometer (เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ), Hygrometer (เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์) และPsychometric Chart (แผนภูมิอากาศ) โดยมีแนวทางการเก็บข้อมูลมีดังนี้

• บันทึกค่าความเร็วลมผ่านหน้าตัดของช่องลมกลับ โดยควรวัดหลายๆจุดให้ทั่วทั้งหน้าตัดแล้วหาเป็นค่าเฉลี่ย

• วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องลมกลับแล้วนำไปคูณกับค่าความเร็วลมเฉลี่ยเพื่อหาปริมาณลมหมุนเวียนผ่านคอยล์เย็นได้

• บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย (Supply Air) เพื่อนำไปหาค่าเอนทาลปีของลมจ่าย (h1) จากแผนภูมิ Psychometric

• บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ (Return Air) เพื่อนำไปหาค่าเอนทาลปีของลมกลับ (h2) จากแผนภูมิ Psychometric

• บันทึกค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมเป็น kW ด้วย Power Meter

การวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรงกำลัง เป็นตัวแสดงปริมาณของงานที่ทำในช่วงเวลาที่กำหนด มันคืออัตราในการทำงาน กำลังไฟฟ้าสามารถวัดได้ในรูปของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า นำค่าที่ได้ทั้งสอง มาคำนวณหากำลัง ไฟฟ้า โดยใช้สูตรคำนวณ ดังสมาการที่ (1)

$$P = VI \quad (1)$$

การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรกระแสสลับ ค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริง (True Power) หรือ PT สามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังสมาการที่ (2)

$$P = VI\cos\theta \quad (2)$$

เมื่อ

P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

V คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

Cosθคือค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของวงจร

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสามารถหาได้จากการคำนวณหาค่าอัตราการจ่ายลมเย็นซึ่งสามารถคำนวณปริมาณลมเย็นตามสมการที่(3)และสามารถนำอัตราการจ่ายลมเย็นดังกล่าวไปคำนวณหาภาระการทำความเย็นได้ตามสมการที่(4)เมื่อสามารถคำนวณภาระการทำความเย็นได้แล้วผนวกกับการวัดความต้องการการใช้พลังงานจะสามารถคำนวณประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศได้ตามสมการที่(5)

CFM = Air Flow Rate (ft3/min) (3)

= Supply Air Speed (ft/min) *Grill Area (ft2)

Q = 4.5xCFMx(h2 -h1) (4)

เมื่อQ = การคำนวณภาระการทำความเย็น (BTU/hr)

CFM = อัตราการจ่ายลมของระบบปรับอากาศ

h2และ h1 = enthalpy ของลมจ่ายและลมกลับซึ่งอ่านค่าได้จาก Psychometric Chart [14]

h2 = สภาวะอุณหภูมิและความชื้นด้านลมกลับ(Btu/lb)

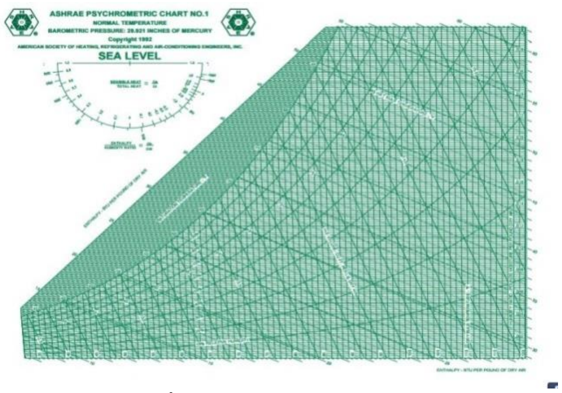
h1 = สภาวะอุณหภูมิและความชื้นด้านลมจ่าย(Btu/lb)

$$EER = \frac{\text{Cooling load (BTU/hr)}}{\text{Electrical Power (Watt)}} \quad (5)$$

EER = 3.412 X COP

COP = EER/3.412 (6)

kW/TR = 12/EER (7)

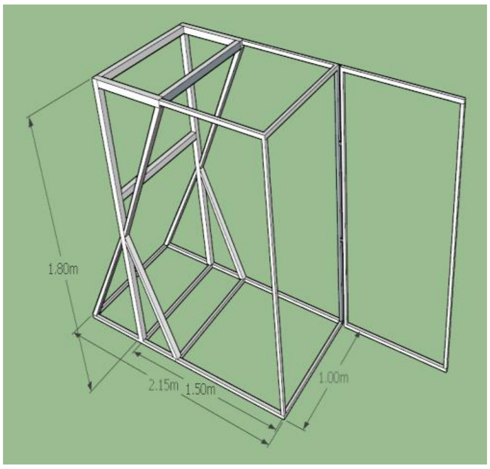


รูปที่8Psychometric Chart[15]

4.วิธีการวิจัย

1. ออกแบบโครงสร้างห้องทดลองและเครื่องทำการทดลองโดยการออกแบบจะคำนึงถึงเรื่องการวัดค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยสร้างห้องทั้งสองห้องให้มีขนาดที่เท่ากันในการปรับเทียบผลของ

เครื่องปรับอากาศระหว่างเครื่องปรับกระแสตรงกับเครื่องปรับกระแสสลับโดยมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละชนิดตามโครงสร้างดังรูปที่ 8 และ 9



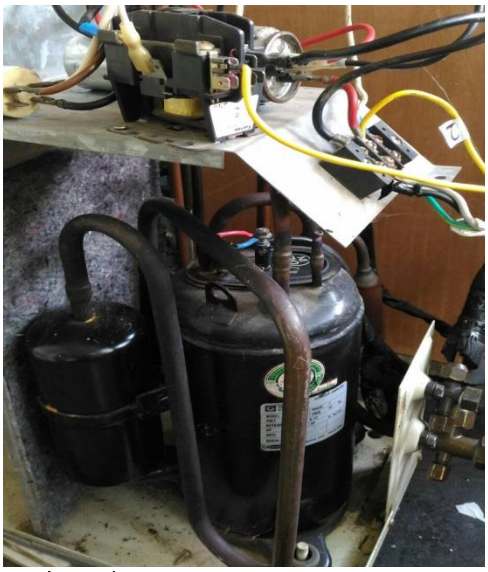
รูปที่ 9การออกแบบโครงสร้างห้องทดลอง

โครงสร้างตามรูปที่ 9 นี่ได้ทำการสร้าง2ชุดโดยจะได้ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเท่าเทียมกันโดยโครงสร้างห้องที่ใช้ทดลองจะอยู่ในห้องที่มีการปรับอากาศขนาด กว้าง 1 เมตรยาว 1.5 เมตรสูง 1.8 เมตรในส่วนของรวมทั้งหมดของโครงสร้างมีขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 2.15 เมตรสูง 1.8 เมตรดังในรูปที่ 10การออกแบบห้องทดลอง

รูปที่ 10การออกแบบห้องทดลองโดยใช้โปรแกรม

2. ทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 บีทียูในห้องที่สร้างขึ้น ทั้ง 2 ห้อง ดังนี้

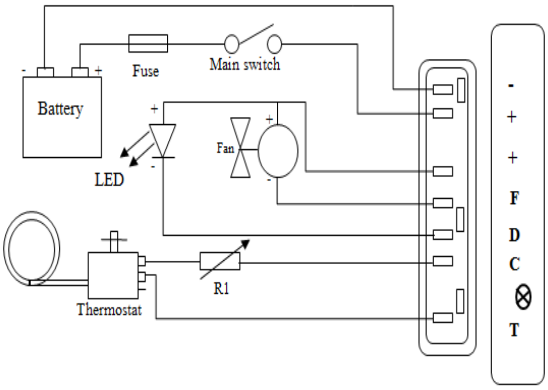
2.1 เครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสสลับตามบ้านเรือนทั่วไป ที่ใช้แหล่งจ่าย 220 โวลต์



รูปที่ 11เครื่องปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสสลับ

2.2 เครื่องปรับอากาศที่มีการเปลี่ยนมาใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรง ที่ใช้แหล่งจ่าย 48 โวลต์ จากแบตเตอรี่

รูปที่ 12คอมเพรสเซอร์กระแสตรง



รูปที่ 13 ไดอะแกรมแสดงการต่อวงจรคอมเพรสเซอร์กระแสตรง

3. ทำการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดและเดินเครื่องปรับอากาศ

4. การปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ใช้ตัวต้านทานปรับท่าได้ในการปรับความเร็ว

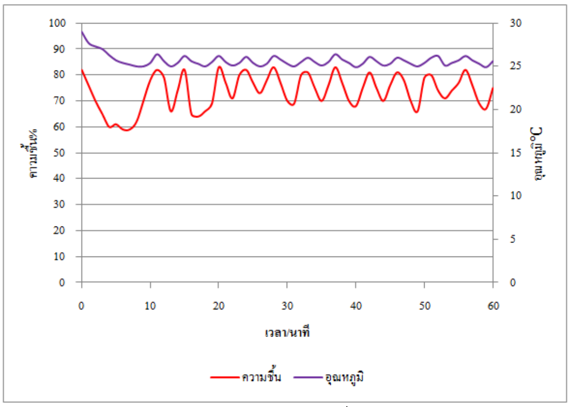
5. จับเวลา และ บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

6. นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงาน

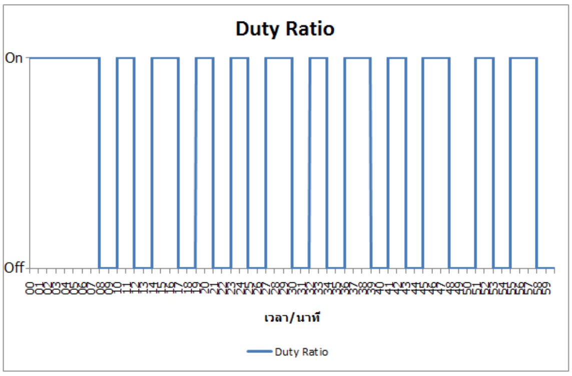
5. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีขนาด 12,000 BTU/Hr ของระบบปรับอากาศระหว่างระบบปรับอากาศ ที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสสลับ 220 โวลต์ ตามบ้านเรือนทั่วไป กับ ระบบปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรง ขนาด 48โวลต์ ที่มีการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ที่มีการกำหนดความเร็วรอบ ที่ 2,500 , 2,850 , 3,200 , 3,500 รอบต่อนาที

การทดลองที่1 ผลการทดลองของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์การะแสสลับที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป ที่มีการปรับตั้งค่า Room thermostat อยู่ที่ 25°C ผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบอัตราส่วนการทำงานของคอมเพรสเซอร์ On-Off และ ค่าที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพแสดงในตารางที่ 2

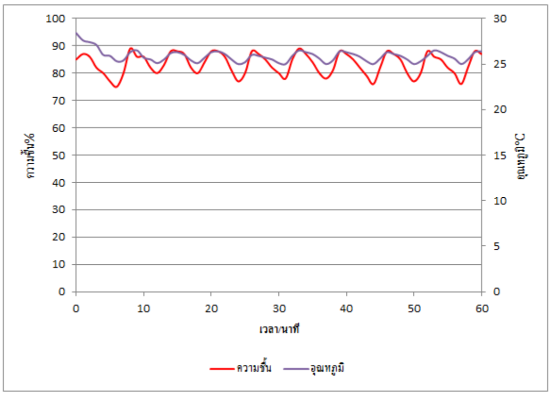


รูปที่14 แสดงอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดสอบ

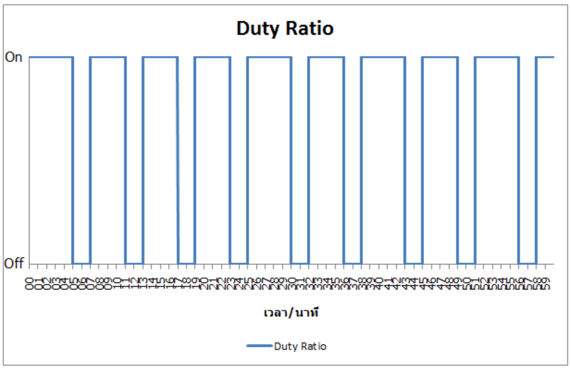


รูปที่15 แสดง Duty Ratio ของเครื่องปรับอากาศที่

การทดลองที่2 ผลการทดลองของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรง 48 โวลต์ เป็นมอเตอร์ต้นกำลัง ที่มีการปรับความเร็วของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบไร้แปรงถ่านที่ 2,500 rpm และปรับตั้งค่า Room Thermostat ที่ 25°Cผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดสอบและ อัตราส่วนการทำงานของคอมเพรสเซอร์ On-Off และ ค่าที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพแสดงในตารางที่ 2

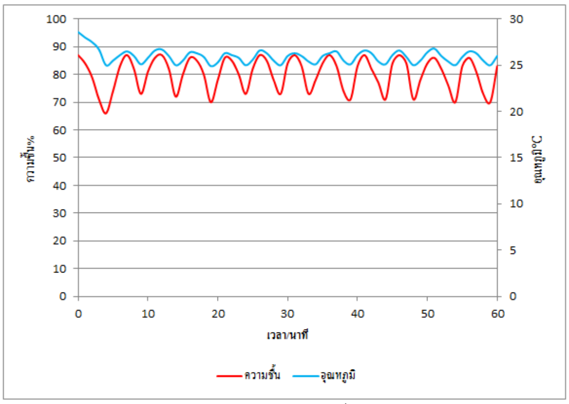


รูปที่16แสดงอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดสอบ

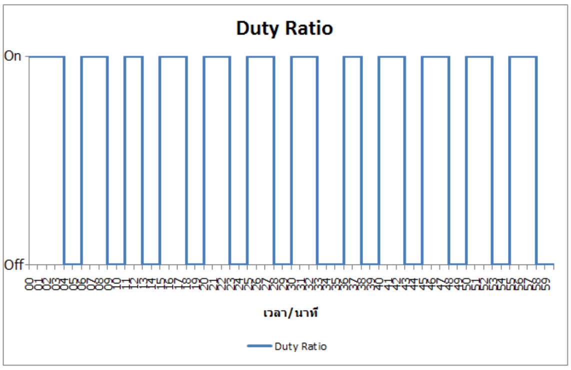


รูปที่17 แสดง Duty Ratio ของเครื่องปรับอากาศที่

การทดลองที่3 ผลการทดลองของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรง 48 โวลต์ เป็นมอเตอร์ต้นกำลัง ที่มีการปรับความเร็วของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบไร้แปรงถ่านที่ 2,850 rpm และปรับตั้งค่า Room Thermostat ที่ 25°Cผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบและอัตราส่วนการทำงานของคอมเพรสเซอร์ On-Off

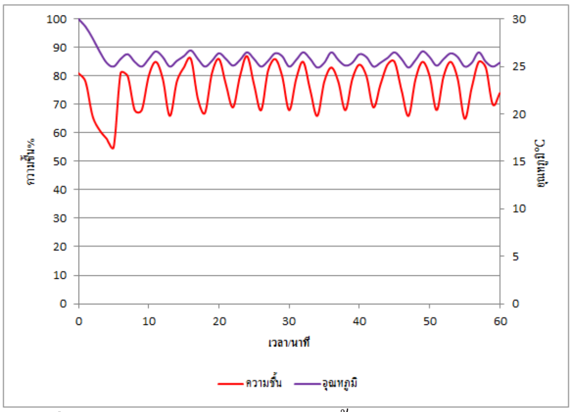


รูปที่18 แสดงอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดสอบ

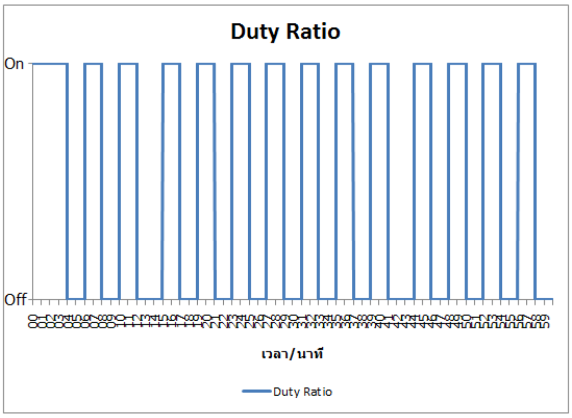


รูปที่ 19แสดง Duty Ratio ของเครื่องปรับอากาศที่

การทดลองที่4 ผลการทดลองของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรง 48 โวลต์ เป็นมอเตอร์ต้นกำลัง ที่มีการปรับความเร็วของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบไร้แปรงถ่านที่ 3,200 rpm และปรับตั้งค่า Room Thermostat ที่ 25°Cผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบและอัตราส่วนการทำงานของคอมเพรสเซอร์ On-Off

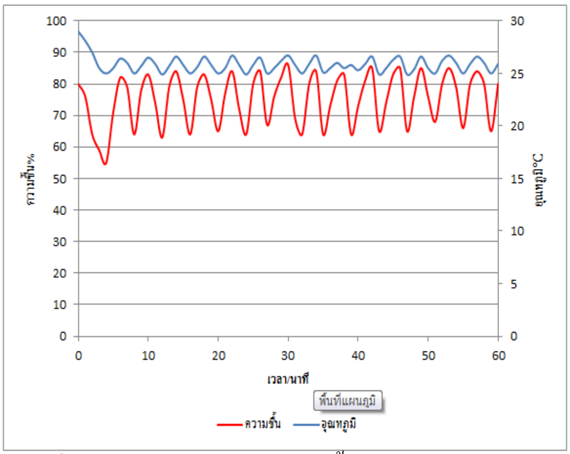


รูปที่20 แสดงอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดสอบ

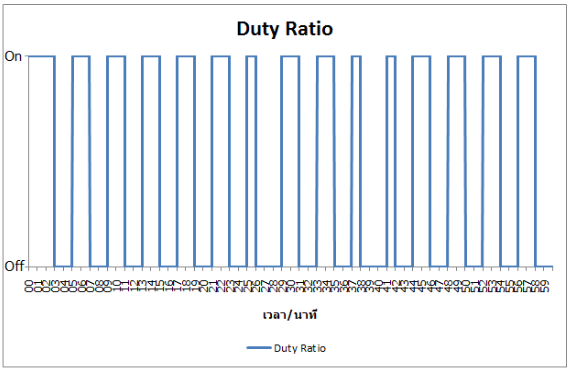


รูปที่21 แสดง Duty Ratio ของเครื่องปรับอากาศที่

การทดลองที่5 ผลการทดลองของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรง 48 โวลต์ เป็นมอเตอร์ต้นกำลัง ที่มีการปรับความเร็วของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบไร้แปรงถ่านที่ 3,200 rpm และปรับตั้งค่า Room Thermostat ที่ 25°Cผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบและอัตราส่วนการทำงานของคอมเพรสเซอร์ On-Off



รูปที่22แสดงอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดสอบ



รูปที่ 23แสดง Duty Ratio ของเครื่องปรับอากาศที่

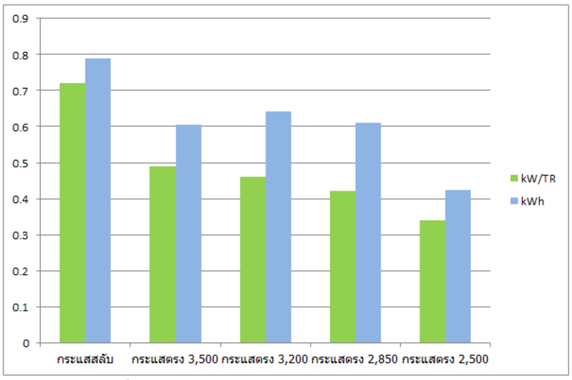
จากข้อมูลที่ได้ตรวจวัดและทดสอบเครื่องปรับอากาศกระแสสลับและเครื่องปรับอากาศกระแสตรงไร้แปรงถ่านที่มีการปรับความเร็ว จึงนำคำนวณประสิทธิภาพแสดงในตารางที่ 2และคำนวณการใช้พลังงานแสดงในตารางที่ 3 รูปที่ 24

ตารางที่ 2แสดงการวัดค่าในการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

ระบบ	กระแส	แรงดัน	PF.	ลมกลับ		ลมจ่าย			
				อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	ความเร็วลม	พื้นที่จ่ายลม
กระแสสลับ	6.6	228	0.9	26.1	67.4	14.5	85.4	584	0.79
กระแสตรง 2,500	10.5	56	-	26.7	69	18.9	86	692	0.9
กระแสตรง 2,850	18	56	-	26	71	15.8	87.9	692	0.9
กระแสตรง 3,200	25	51	-	25.8	71	13.9	92.4	692	0.9
กระแสตรง 3,500	25	49	-	24.9	69	12.8	97.3	692	0.9

ตารางที่ 3 แสดงค่าจากการคำนวณประสิทธิภาพและการใช้พลังงาน

ระบบ	กำลังไฟฟ้า	h1 Btu/lB	h2 Btu/lB	Duty Ratio	ประสิทธิภาพ	พลังงาน
กระแสสลับ	1,354	23.2	34	0.5833	0.72	0.79
กระแสตรง 2,500	588	28.6	36	0.7	0.34	0.423
กระแสตรง 2,850	1,008	25.5	35.8	0.5833	0.42	0.61
กระแสตรง 3,200	1,275	23.3	35.1	0.5	0.46	0.642
กระแสตรง 3,500	1,200	22.5	33	0.4666	0.49	0.606



รูปที่24 แสดงค่าของอัตราการใช้พลังงาน

6.อภิปรายผลการวิจัย

6.1จากผลการทดลองที่ 1 รูปที่14จะเห็นว่า อุณหภูมิก่อนเริ่มทำงาน 29°C ใช้เวลาในการทำงาน 8 นาที อุณหภูมิลดลงมา ที่ 25°C อุณหภูมิจะขึ้นลงๆ อยู่ที่ 24.9-26.4°C ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 59-83% แปรผันตามการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และรูปที่15 อัตราส่วนการทำงานของเครื่องปรับอากาศใน 1 ชั่วโมง มีการทำงาน 35 นาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 1,354Wเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์ต่อได้ 0.79 kWh และ คำนวณกิโลวัตต์ต่อตันความเย็นจากตารางที่ 1ตามสมการที่ (6)ได้ 0.72kW/TR

6.2 จากผลการทดลองที่ 2 รูปที่16 อุณหภูมิก่อนเริ่มทำงาน 28.4°C ใช้เวลาในการทำงาน 5 นาที อุณหภูมิลดลงมา 25.3°C อุณหภูมิจะขึ้นลงๆ อยู่ที่ 25-26.5°C ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 75-89% แปรผันตามการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และ รูปที่17 อัตราส่วนการทำงานของเครื่องปรับอากาศใน 1 ชั่วโมง มีการทำงาน 42

นาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 604Wเมื่อคิดเป็น กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงได้ 0.42kWhและ คำนวณเป็นกิโลวัตต์ต่อตันความเย็นจากตารางที่ 2 ตามสมาการที่ (7)ได้ 0.34 kW/TR

6.3 จากผลการทดลองที่ 3 รูปที่18อุณหภูมิก่อนเริ่มทำงาน 28.6°C ใช้เวลาในการทำงาน 4 นาที อุณหภูมิลดลงมา 25°C อุณหภูมิจะขึ้นลงๆ อยู่ที่ 24.9-26.8°C ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 66-87% แปรผันตามการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และ รูปที่ 19อัตราส่วนการทำงานของเครื่องปรับอากาศใน 1 ชั่วโมง มีการทำงาน 35 นาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 1,045Wเมื่อคิดเป็น กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงได้ 0.61 kWh และ คำนวณเป็นกิโลวัตต์ต่อตันความเย็นจากตารางที่ 2 ตามสมการที่ (7) ได้ 0.42 kW/TR

6.4 จากผลการทดลองที่ 4 รูปที่ 20อุณหภูมิก่อนเริ่มทำงาน 30°C ใช้เวลาในการทำงาน 4 นาที อุณหภูมิลดลงมา 25°C อุณหภูมิจะขึ้นลงๆ อยู่ที่ 24.9-26.7°C ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 55-87% แปรผันตามการทำงานของคอมเพรสเซอร์รูปที่ 21อัตราส่วนการทำงานของเครื่องปรับอากาศใน 1 ชั่วโมง มีการทำงาน 30นาที เมื่อคิดเป็น กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงตามสมาการที่ 1 ได้ 0.64 kWh และ คำนวณเป็นกิโลวัตต์ต่อตันความเย็นจากตารางที่ 1ตามสมการที่ (7)ได้ 0.46 kW/TR

6.5 จากผลการทดลองที่ 5 รูปที่ 22อุณหภูมิก่อนเริ่มทำงาน 29°C ใช้เวลาในการทำงาน 3 นาที อุณหภูมิลดลงมา 25°C อุณหภูมิจะขึ้นลงๆ อยู่ที่ 24.9-26.7°C ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 55-86% แปรผันตามการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และ รูปที่ 23อัตราส่วนการทำงานของเครื่องปรับอากาศใน 1 ชั่วโมง มีการทำงาน 28 นาที เมื่อคิดเป็น กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงตามได้ 0.60 kWh และ คำนวณเป็นกิโลวัตต์ต่อตันความเย็นจากตารางที่ 1 ตามสมการที่ (7)ได้ 0.49 kW/TR

การวิเคราะห์การใช้พลังงาน

ในการทดสอบเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสสลับตามบ้านเรือนทั่วไป ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.79 กิโลวัตต์ต่อ1ชั่วโมงกับเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรงที่ความเร็ว 2,500 , 2,850 , 3,200 และ 3,500รอบต่อนาทีใช้พลังงานไฟฟ้า 0.42 , 0.61 , 0.64และ 0..60 kWh เมื่อคิดเป็นค่าไฟฟ้าใน 1 วัน ให้ทำงานเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ค่าไฟหน่วยละ 4บาท เครื่องปรับอากาศกระแสสลับ จะเสียค่าไฟ 32 บาท ส่วนเครื่องปรับอากาศกระแสตรง ที่ 2,500 รอบ เสียค่าไฟ 17 บาท ที่ 2,850 รอบเสียค่าไฟ 24 บาท ที่ 3,200 รอบ เสียค่าไฟ 26 บาท และ 3,500 รอบ เสียค่าไฟ 24 บาท จากการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศทั้ง 2 ระบบ พบว่า เครื่องปรับอากาศไฟฟ้ากระแสตรงจะประหยัดกว่าแบบไฟฟ้ากระแสสลับ

7. สรุปผล

จากการทดสอบเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเดิมตามบ้านเรือนทั่วไป เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการใช้พลังงานพบว่า เครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถทำความเย็นให้ลดลงมาที่ 25°Cตามที่ตั้งค่าไว้ได้ไวกว่า ซึ่งทำให้มีค่า Duty Ratio ที่น้อยกว่า และ มีการใช้กำลังไฟฟ้าในการทำงานน้อยกว่า ทำให้ในการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ไฟฟ้ากระแสตรง น้อยกว่าและประหยัดกว่า คอมเพรสเซอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเดิม และพร้อมที่จะนำไปใช้สำหรับระบบปรับอัตราการไหลของน้ำยาโดยการปรับความเร็วรอบ และใช้แหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดค่าใช้จ่าย และความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของระบบต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์

9. เอกสารอ้างอิง

1.NopppornPatcharaprakiti,KasemTripak, JeerawanSaelao, "Load Modeling based on System Identification with Kalman Filtering of Electrical Energy Consumption of Residential Air-Conditioning", International Symposium on Science Fusion and Technology (ISFT) 2014, Korea 2014

2. JeerawanSaelao*,KasemTripak andNopppornPatcharaprakiti, "Mathematical Load Modeling of Residential Air-Conditioning for Demand Response Application", The 6th International Conference of Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB VI).ApsaraAnkor Resort and Conference, Siem Reap, Kingdom of CambodiaCambodia 2014.

3. R. Gugulothu, N. SaradaSomanchi, and etal., "A Review on Solar Powered Air Condition$ing System", Procedia Earth and Planetary Sciency, Global Challenges, Policy Framework & Sustainable Development for Mining of Mineral and Fossil Energy Resources (GCPF 2015), 361-367.

4. I. Daut, M. Adzrie, M.Irwanto, P.Ibrahim, M.Fitra, "Solar Powered Air Conditioning System", Energy Procedia, TerraGreen13 International Conference, 2013, 444-453.

5. Q.P. Ha and V.Vakiloroaya, "A novel solar assisted air conditioner system for energy savings with performance enhancement", Procedia Engineering, Evolving Energy – IEF International Energy Congress (IEF-IEC2012), 116-123.

6. U.Eicker, D.Pietruschka, M.Haag and A.Schmitt, "Energy and economic performance of solar cooling systems world wide", Energy Procedia, 2013 ISES Solar World Congress.

7. T.Kata, Y.Shirajuji, S.Kawaguchi, "Comparison of Compressor Efficiency Between Rotary and Scroll Type with Alternative Refrigerants for R22", International Compressor Engineering Conference Paper, 1085.

8. W.Vance Payne and PiotrA.Domanksi, "A Comparison of an R22 and R410A Air Conditioner Operating at High Ambient Temperatures",

9. U. Desideri, S.Proietti, " Solar powered cooling systems : Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air conditioning applications, Applied Energy, 2009, 86, 1376-1386.

10. NopppornPatcharaprakiti *, JeerawanSaelao, " A Technical Design and Economic Evaluation of DC Solar Air Conditioning System", ISFT 2016, New Delhi India, 17-23 January 2016

11. http://www.pea-encom.com/index.php?lite=article &qid=41957700

12.https://www.chemours.com/Refrigerants/en_US/assets/downloads/k05736_Freon22_thermo_prop.pdf

13. http://www.nidec.com/enNA/technology/capability/brushless/

14. .http://electronics.stackexchange.com/questions/186330/in-order-to-understand-bldc-motors-and-their-working-principle-i-read-a-lot-on

15.http://www.greenbuildingadvisor.com/articles/dept/building-science/fundamentals-psychrometrics-part-3

เตาอบดินเผาสำหรับอบไก่โดยใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดและควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

Earthen Oven for Roast Chicken Using Infrared Heater and Controlled by Microcontroller

สุรินทร์ แหงมงาม[1*], โอสถ คนซื่อ[2], ศศิวรรณ อินทรวงศ์[2], รัตนะ จารุจินดา[1], วิทยา สายแก้ว[1], ภูวดล วัฒนากรรุ่งเรือง[1], ณัฐวุฒิ หอมสิน[1]

Surin Ngaemngam, Osot Khonsue, Sasiwan Intarawong, Rattana Jarujinda, Vittaya Saikweo, Puvadol Wattanakornrungruang, Nattavut Homsin

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
199 หมู่ 3 ถนนพังโคน-วาริชภูมิ ต.พังโคน อ.พังโคน จ.สกลนคร 47160
[3]สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
*Email : surin.n@en.rmutt.ac.th, 02-549-3420

บทคัดย่อ

ปัญหาของเตาอบดินเผาสำหรับอบไก่ทั่วไปที่ใช้กันตามชนบท คือไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและตั้งเวลาการทำงานได้ รวมถึงการใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนจำนวนมากในการอบแต่ละครั้ง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอเตาอบดินเผาสำหรับอบไก่โดยใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดและควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เตาอบนี้สามารถควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิและตั้งเวลาในการอบไก่แต่ละครั้งได้ เตาอบเครื่องนี้สามารถตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการได้ตั้งแต่ 0-200 °C และสามารถตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1 นาที จนถึง 24 ชั่วโมง การทดสอบประสิทธิภาพของเตาอบจะทำการอบไก่ ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C, 100°C, 150°C, 180°C, 200°C ใช้เวลา 40 นาที , 50 นาที , 60 นาที ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าไก่อบจะสุก ที่อุณหภูมิ 150 โดยใช้เวลา ในการอบตั้งแต่ 50 นาที เป็นต้นไป และ ไก่อบจะเริ่มการไหม้ ที่ อุณหภูมิ 200°C ที่เวลา 60 นาที เป็นต้นไป และจากการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ขณะอบไก่ โดยการให้เตาอบทำงานทำอุณภูมิ ตั้งแต่อุณหภูมิห้องขณะทดสอบ 28°C ไปจนถึงอุณหภูมิ 40°C และทำการตั้งอุณภูมิเพิ่มครั้งละ 10°C จนถึง 200 °C พบว่าเตาอบจะใช้เวลาในการทำอุณภูมิตั้งแต่ 3.46 จนถึง 24.02 นาที และใช้พลังงาน 0.173 จนถึง 1.021 kWh

Abstract

The problem of general earthen oven that uses in rural area are cannot control temperature and cannot set timer for roast chicken. In addition, it has to use a lot of charcoal for generate heat in each time of roasting. Therefore, this research propose earthen oven for roast chicken using infrared heater and controlled by microcontroller. This oven can control the temperature and can set timer in each time for chicken roasting. This oven can be set the temperature between 0°C to 200 °C and can be set timer between one minute to 24 hour. To evaluate the efficiency of this oven, roasting chicken will be start at the temperature 60°C, 100°C, 150°C, 180°C, 200°C at 40, 50 and 60 minute in each of temperature value. The testing results found that the temperature for well-done roast chicken will start at 150 °C by setting time at 50 minute and up. And the temperature for making burn roast chicken will start at 200 °C by setting time at 60 minute and up.

And the parameters that measure while roasting chicken by setting the temperature from 40 °C and increase 10°C in each step till to 200 °C found that, time consuming for the oven start from 3.46 minute to 21.02 minute and energy consumption start from 0.173 kWh to 1.021 kWh.

คำหลัก : เตาอบดินเผา ไก่ ไมโครคอนโทลเลอร์ ฮีทเตอร์อินฟราเรด

Keywords : Earthen Oven , Chicken, Microcontroller, Infrared heater

1. บทนำ

ในปัจจุบัน การประกอบอาชีพ ขายไก่อบโอ่ง ที่มาจากภูมิปัญญาท้องถิ่น หันมานิยมกันอย่างแพร่หลาย ในหลายพื้นที่ เช่น ใกล้สถานที่ท่องเที่ยว และ บริเวณชุมชน ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านได้ออกแบบและสร้างเตาอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ เจษฎา รัศมีศิวโสภา และ คณะ [1] เสนอการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอบไก่แบบถังขนาด 200 ลิตร งานวิจัยนี้จุดประสงค์เพื่อต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในการเก็บความร้อนของเตาอบ โดยการใส่ฉนวนใยแก้วไว้ภายในบริเวณผนังของเตาอบไก่ กิตติชัย สุคำมา และกอดขวัญ นามสงวน [2] เสนอการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องโดยใช้อินฟาเรดร่วมกับลมร้อนขนาดห้องปฏิบัติการสำหรับลำใย ปรีดา พสุรัตน์ และคณะ [3] เสนอเตาอบจากขดลวดความร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเตาอบจากขดลวดความร้อนที่สามารถอบไก่ขนาด 1 กิโลกรัม ได้ครั้งละไม่เกิน 2 ตัว และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 3 ระดับ คือ 25, 80 และ 180 องศาเซลเซียส วิชาญ เวียงยิ่ง และคณะ [4] เสนอการพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบใบขี้เหล็กสารด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ งานวิจัยนี้นำใช้หลักการควบคุมให้ลมร้อนหมุนเวียนไล่ความชื้นที่นำเข้าสู่เตาอบ ซึ่งควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีหลักการควบคุมการทำงานตัวชุดควบคุมความถี่ทางไฟฟ้า ที่สามารถตั้งค่าความถี่ทางไฟฟ้าให้สอดคล้องกับมอเตอร์ที่ควบคุมใบพัดของพัดลม ผลจากการทดสอบพบว่าระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบใบขี้เหล็กสาร ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตใบขี้เหล็กสารอบแห้ง งานวิจัยนี้จึงนำเสนอ เตาอบดินเผาสำหรับอบไก่โดยใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดเป็นตัวให้ความร้อนและควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ โดยเตาอบนี้สามารถควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิความร้อนและตั้งเวลาการทำงานได้โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของเตาอบดินเผาสำหรับอบไก่โดยใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดเป็นตัวให้ความร้อน

2.2 เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างเตาอบดินเผาสำหรับอบไก่โดยใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดเป็นตัวให้ความร้อน

2.3 เพื่อศึกษาโปรแกรมไมโครคอนโทรล-เลอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเตาอบดินเผาฮีทเตอร์อินฟราเรด

3. ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

3.1 โอ่งดินเผา [5]

คุณสมบัติของดิน โดยเฉพาะดินเหนียวมีคุณสมบัติที่ดีคือสามารถอุ้มน้ำได้ เมื่อนำดินมาผสมกับน้ำจะทำให้ดินมีความเหนียวและสามารถที่จะปั้นหรือขึ้นรูปสามมิติ โดยไม่ต้องเพิ่มเติมวัสดุอื่นอีก เมื่อนำดินที่ขึ้นรูปแล้วมาให้ความร้อน ดินซึ่งประกอบด้วยผลึกในตระกูลของ "alumino silicate" จะมีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานทางเคมี สารประกอบอัลคาไลน์ เป็นสารชนิดหนึ่งที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับผลึกดินที่อุณหภูมิสูง พลังงานความร้อนนี้สามารถขับให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลึกดิน โดยจะทำให้เกิดสารประกอบลักษณะเป็น "แก้ว" สารประกอบนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวประสานอนุภาคดินที่เหลือ ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง เข้าด้วยกัน ทำให้เนื้อวัสดุหลังการเผา (อย่างน้อยประมาณ 800 องศาเซลเซียส แล้วแต่คุณสมบัติทางเคมี) มีความคงทนแข็งแรงขึ้น โอ่งดิน เป็นภาชนะชนิดหนึ่งที่ปั้นมาจากดินเหนียว โดยปกติ

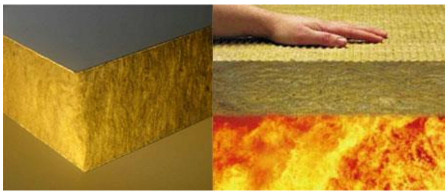
แล้วโอ่งจะถูกนำมาใช้สำหรับเก็บน้ำ เพื่อไว้ดื่ม และไว้ใช้ในชีวิตประจำวัน

3.2 ฮีทเตอร์อินฟราเรด [6]

ฮีทเตอร์อินฟราเรด มีหลักการทำความร้อน คือ ให้กำเนิดแสงอินฟราเรดและส่งไปยังวัตถุโดยเป็นแสงคลื่นยาวที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ เป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสี จึงมีประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียต่ำ ประหยัดไฟได้ ร้อยละ 30สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อใน จึงทำให้ประหยัดเวลาได้ 1 - 10 เท่าซึ่งรังสีนี้จะทำให้โมเลกุลของวัตถุที่ได้รับรังสีนี้เข้าไปเกิดการสั่น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น หลักการนี้จะมีประสิทธิภาพมาก เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับวัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่เรียงกันเป็นแถวยาว เช่น สี กาว อาหาร พลาสติก แลกเกอร์ คุณลักษณะที่สำคัญของฮีทเตอร์อินฟราเรด คือ แผ่รังสีความร้อนควบคุมได้ง่ายและคงที่สม่ำเสมอ ไม่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองและมลภาวะต่าง ๆ สามารถเลือกลักษณะรูปร่างฮีทเตอร์ได้หลากหลาย ตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งานและติดตั้งง่าย

3.3 ฉนวนใยหิน Rockwool [7]

ร็อควูลผลิตจากหิน แต่มีรูปลักษณะและการใช้งานเหมือนขนสัตว์ ซึ่งเป็นฉนวนธรรมชาติ วัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับร็อควูล ได้แก่หินปูนและบาซอลท์ วัตถุดิบจะถูกหลอมในเตาเผาที่ใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิประมาณ 1300 องศาเซลเซียส วัตถุดิบที่หลอมเหลวจะถูกทำให้เป็นเส้นใย โดยใช้ล้อหมุนที่ลดอุณหภูมิด้วยน้ำ เส้นใยเหล่านี้จะถูกเคลือบด้วยสารผนึกที่เป็นเทอร์โมเซตติ้ง ซึ่งเมื่อบ่มด้วยความร้อนแล้วจะเชื่อมเส้นใยเข้าด้วยกันเป็นผืนหลัง จากนั้นจะถูกตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดต่าง ๆ ทั้งชนิดแผ่นที่มีขนาดเล็กและแข็ง หรือชนิดม้วนที่มีขนาดใหญ่กว่า ร็อควูลชนิดแผ่นและม้วนที่ผลิตได้จะมีความหนาแน่น และความหนาต่างกันได้หลายขนาด ผลิตภัณฑ์ร็อควูล มีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดีเยี่ยมในช่วงอุณหภูมิ -240 องศาเซลเซียส ถึง +820 องศาเซลเซียส ประโยชน์ใช้งานรวมถึงการกันความร้อนและเก็บเสียงทุกประเภท ที่จำเป็นในกิจการผลิตกระแสไฟฟ้าอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาคารต่าง ๆ ระบบปรับอากาศและระบบกันไฟ ตั้งแต่หลังคาจนถึงท่อไอน้ำ ตลอดจนผนังห้อง โดยช่วยลดเสียงลงได้ ร้อยละ 50 และช่วยลดค่าไฟได้ถึง ร้อยละ 70

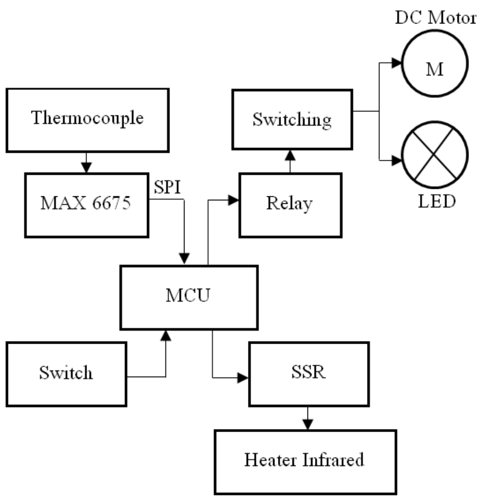


รูปที่ 1 ลักษณะฉนวนใยหิน Rockwool [7]

4. วิธีการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการออกแบบและสร้างเตาอบดินเผาสำหรับอบไก่โดยใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดและประยุกต์อุปกรณ์ทางไฟฟ้าเข้าไปเพื่อช่วยในการควบคุมอุปกรณ์ในการสั่งการทำงานให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ใช้ฮีทเตอร์ขนาด 3 kW รูปที่ 2 แสดงแผนผังควบคุมทำงานของเตาอบดินเผาขดลวดอินฟาเรด

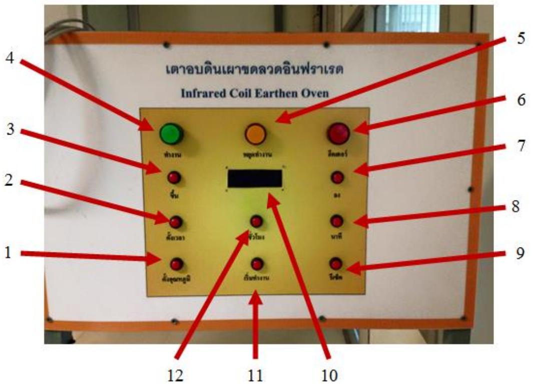
แผนผังระบบควบคุมการทำงานของเตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรดแสดงดังรูปที่ 2 โดยมีหลักการทำงานคือ เทอร์โมคับเปิ้ลเป็นตัววัดอุณหภูมิแล้วส่งไปยัง Max6675 เพื่อแปลงสัญญาณแบบ SPI เข้าสู่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลส่วนสวิตซ์เป็นตัวควบคุมระบบต่าง เช่น ตั้งเวลา อุณหภูมิ ฯลฯ เป็นต้น ส่วนรีเลย์เป็นตัวตัดต่อการทำงานของ มอเตอร์กระแสตรงและหลอด LCD ซึ่งต่อผ่านสวิตชิ่งโดยใช้แรงดันกระแสตรง 12V โดยถูกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของรีเลย์ ส่วน SSR จะเป็นตัวตัดต่อฮีทเตอร์อินฟราเรดซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของ SSR



รูปที่ 2 แผนผังควบคุมทำงานของเตาอบดินเผาขดลวดอินฟาเรด

จากรูปที่ 2 เป็นแผนผังระบบควบคุมการทำงานของเตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรด โดยมีหลักการทำงานคือ เทอร์โมคับเปิ้ลเป็นตัววัดอุณหภูมิแล้วส่งไปยัง Max6675 เพื่อแปลงสัญญาณแบบ SPI เข้าสู่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลส่วนสวิตซ์เป็นตัวควบคุมระบบต่าง เช่น ตั้งเวลา อุณหภูมิ ฯลฯ เป็นต้น ส่วนรีเลย์เป็นตัวตัดต่อการทำงานของ มอเตอร์กระแสตรงและหลอด LCD ซึ่งต่อผ่านสวิตชิ่งโดยใช้แรงดันกระแสตรง 12V โดยถูกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของรีเลย์ ส่วน SSR จะเป็นตัวตัดต่อฮีทเตอร์อินฟราเรดซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของ SSR ลักษณะของเตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรดแสดงดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงลักษณะแผงควบคุมการทำงานของเตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรด

รูปที่ 3 เตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรด

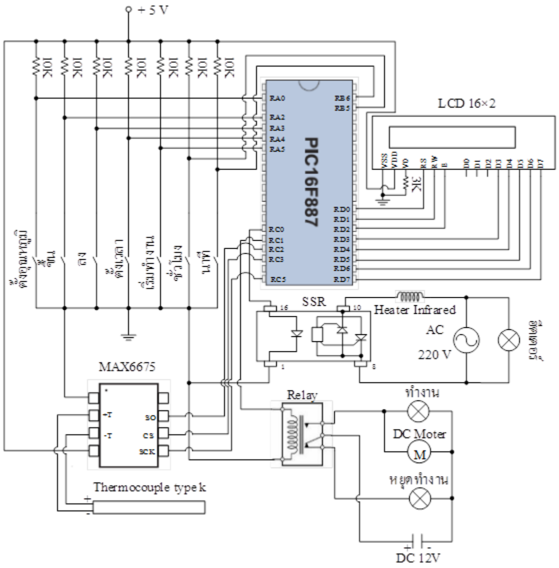


1) สวิตช์ตั้งอุณหภูมิ	2) สวิตช์ตั้งเวลา
3) สวิตช์ปรับขึ้น	4) หลอดไฟแสดงผลการทำงาน
5) หลอดไฟแสดงผลหยุดทำงาน	6) หลอดไฟแสดงผลฮีตเตอร์ทำงาน
7) สวิตช์ปรับลง	8) สวิตช์ตั้งนาที
9) สวิตช์ตั้งรีเซ็ต	10) หน้าจอแสดงผล
11) สวิตช์เริ่มการทำงาน	12) สวิตช์ตั้งชั่วโมง

รูปที่ 4 ลักษณะแผงควบคุมการทำงาน

รูปที่ 5 เป็นวงจรไฟฟ้าสำหรับเตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรด โดยมี IC PIC16F887 เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด มีอินพุตเป็นสวิตซ์ทั้งหมดได้แก่ สวิตช์ตั้งอุณหภูมิ,สวิตซ์ตั้งเวลา,สวิตช์ขึ้น-ลง,สวิตช์ตั้งชั่วโมง-นาทีและสวิตช์เริ่มทำงานส่วนสวิตซ์รีเซ็ตจะต่อโดยตรงกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และมี IC MAX6675 เป็นตัวแปลงสัญญาณจาก Thermocouple type k แล้วส่งสัญญาณแบบ SPI ไปยัง IC PIC16F887 โดยใช้ขา RD2,RD3,และ ขา RD5 ในการรับสัญญาณ

ส่วนเอาต์พุตมี LCD แสดงผลโดยใช้ขา RD0-RD7, ขดลวดอินฟราเรดที่ถูกต่อผ่าน SSR โดยใช้ขา RC0 ควบคุม, รีเลย์ควบคุมการทำงานของหลอดแสดงถานะการทำงาน มอเตอร์ และหลอดแสดงสถานะหยุดทำงาน โดยใช้ขา RC1 ในการควบคุม



รูปที่ 5 ลักษณะวงจรไฟฟ้าสำหรับเตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรด

ขั้นตอนการทำงานของเตาอบดินเผา

ขั้นตอนการทำงานโดยรวมของเตาอบดินเผา (แสดงในรูปที่ 6 มีละเอียดการทำงานดังนี้

1) โปรแกรมจะทำงานได้ดังนั้นต้องเปิดสวิทช์ On – Off ก่อน และเมื่อปิดสวิทช์ On – Off ระบบควบคุมทั้งหมดจะหยุดทำงาน

2) สามารถเลือกตั้งอุณหภูมิหรือตั้งเวลาอย่างใดอย่างหนึ่งก่อนก็ได้

3) เมื่อต้องการตั้งอุณหภูมิต้องกดปุ่ม “ตั้งอุณหภูมิ” ก่อนจากนั้นจึงต้องกดปุ่ม ขึ้น – ลง เพื่อตั้งค่าอุณหภูมิตามต้องการ

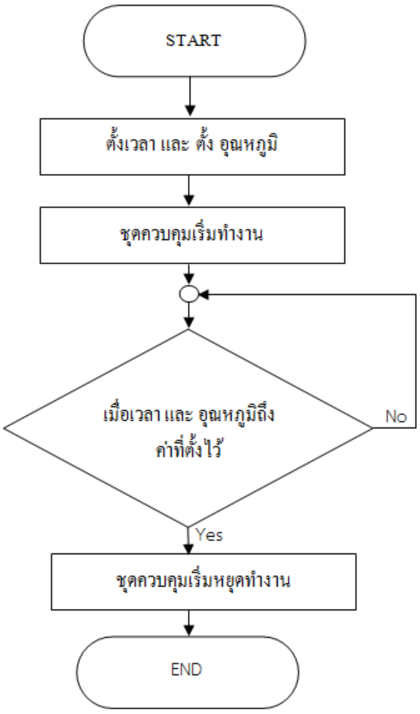
4) เมื่อต้องการตั้งเวลาต้องกดปุ่ม “ตั้งเวลา” ก่อน ถ้าต้องการตั้งนาทีให้กดปุ่ม “นาที” ก่อนแล้วจึงกดปุ่ม ขึ้น – ลง และถ้าต้องการตั้งชั่วโมงให้กดปุ่ม “ชั่วโมง” ก่อนแล้วจึงกดปุ่ม ขึ้น – ลง สามารถตั้งค่านาทีหรือชั่วโมงอย่างใดอย่างหนึ่งก่อนก็ได้

5) เมื่อกดปุ่ม “เริ่มทำงาน” มอเตอร์ DC ที่ติดกับแกนหมุนไก่ และไฟแสดงสถานะ “ทำงาน” หลอดสีเขียวก็จะทำงานพร้อมกัน

6) เมื่ออุณหภูมิภายในเตาอบต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ขดลวดและหลอดไฟแสดงสถานนะ “ฮีทเตอร์” ก็จะทำงานและเมื่ออุณหภูมิในเตาอบสูงกว่าค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ขดลวดและหลอดไฟแสดงสถานะ “ฮีทเตอร์” ก็จะหยุดทำงาน ทำงานแบบนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้

7) เมื่อโปรแกรมทำงานถึงเวลาที่ตั้งไว้ มอเตอร์ DC ที่ติดกับแกนหมุนไก่ และขดลวดจะหยุดทำงานทำให้หลอดไฟแสดงสถานะ “หยุดทำงาน” ทำงาน

8) ถ้าต้องการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิขณะที่เครื่องทำงานอยู่หรือเริ่มทำงานไปแล้ว สามารถกดปุ่ม “ตั้งอุณหภูมิ” ก่อนจากนั้นจึงต้องกดปุ่ม ขึ้น – ลง เพื่อตั้งค่าอุณหภูมิตามต้องการ โดยไม่ต้องกดปุ่มเริ่มทำงานอีกครั้ง



รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำงานโดยรวมของเตาอบดินเผา

9) ถ้าต้องการเพิ่มหรือลดเวลาสามารถกดปุ่ม “ตั้งเวลา” ก่อนแล้วจึงกดตั้งค่านาทีหรือชั่วโมงได้เลยตามขั้นตอนข้อที่ 4 โดยไม่ต้องกดปุ่มเริ่มทำงานอีกครั้ง

10) ถ้าเครื่องหยุดทำงานก่อนเวลาที่ตั้งหรือหยุดทำงานเมื่อถึงเวลาที่ตั้ง สามารถกดปุ่ม “รีเซ็ต” เพื่อตั้งค่าเวลาและอุณหภูมิใหม่ได้

5. ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของเตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรดในการอบไก่

การทดสอบหาประสิทธิภาพของเตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรดในการอบไก่ จะทำการทดสอบอบไก่ที่อุณหภูมิ 100°C, 150°C, 180°C และ 200°C โดยใช้เวลา 40 นาที, 50 นาที , 60 นาที ตามลำดับ ผลทดสอบการอบไก่และลักษณะทางกายภาพของไก่หลังจากผ่านการอบแล้วแสดงดังในตารางที่ 1

6. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอเตาอบดินเผาสำหรับอบไก่โดยใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดและควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเตาอบนี้สามารถปรับตั้งอุณหภูมิและตั้งเวลาการทำงานได้ เตาอบเครื่องนี้สามารถตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการได้ตั้งแต่ 0-200 °C และสามารถตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1 นาที จนถึง 24 ชั่วโมง การทดสอบประสิทธิภาพของเตาอบจะทำการอบไก่ ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C ทดสอบอุณหภูมิที่ 100°C, 150°C, 180°C, 200°C ใช้เวลา 40 นาที , 50 นาที , 60 นาที ตามลำดับ ในแต่ละอุณหภูมิ ผลการทดสอบพบว่าไก่อบจะสุก ที่อุณหภูมิ 150 โดยใช้เวลา ในการอบตั้งแต่ 50 นาที เป็นต้นไป และ ไก่อบจะเริ่มการไหม้ ที่ อุณหภูมิ 200°C ที่เวลา 60 นาที เป็นต้นไป และจากการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ขณะอบไก่ โดยการให้เตาอบทำงานทำอุณภูมิ ตั้งแต่อุณหภูมิห้องขณะทดสอบ 28°C ไปจนถึงอุณหภูมิ 40°C และทำการตั้งอุณภูมิเพิ่มครั้งละ 10°C จนถึง 200 °C พบว่าเตาอบจะใช้เวลาในการทำอุณภูมิตั้งแต่ 3.46 จนถึง 24.02 นาที และใช้พลังงาน 0.173 kWh จนถึง 1.021 kWh

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องเตาอบดินเผาสำหรับอบไก่โดยใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดและควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นโดยได้รับการสนับสนุนจากเงินงบประมาณประจำปี 2560 จาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โครงการวิจัยนี้ดำเนินการและสำเร็จไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการ ทำงานวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] เจษฎา รัศมีศิวโสภา และ คณะ. 2550. “การพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอบไก่แบบถัง 200 ลิตร.” ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยนครพนม.

[2] กิตติชัย สุคำมา และ กอดขวัญ นามสงวน. 2553. “การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องโดยใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อนขนาดห้องปฏิบัติการ.” วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] ปรีดา พสุรัตน์ และคณะ. 2553. “เตาอบจากขดลวดความร้อน.” ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยนครพนม.

[4] วิชาญ เวียงยิ่ง. 2556. “การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภมิเตาอบใบขี้เหล็กสารด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.” วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] เครื่องปั้นดินเผา. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wiki/เครื่องปั้นดินเผา

[6] บริษัทไออีเอส อิเล็คทริค จำกัด. 2556. **ฮีทเตอร์อินฟราเรด**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.heater-heater.com/ (8 มีนาคม 2558)

[7] บจก.ไมโครกลาสอินซูเลชั่น แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง. 2558. **ฉนวนใยหิน**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.microglassinsulation.com/knowledges-rockwool.html (8 มีนาคม 2558)

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของเตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรดในการอบไก่

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ลักษณะทางกายภาพของไก่ที่ได้จากการอบ	
100	40		เนื้อไก่เป็นสีขาวและไม่สุก
	50		เนื้อไก่เป็นสีขาวและไม่สุก
	60		เนื้อไก่เป็นสีขาวเหลือง
150	40		เนื้อไก่เป็นสีเหลืองข้างในไม่สุก
	20		เนื้อไก่ข้างในไม่สุก หนังข้างนอกสุก
	60		สุกแบบเนื้อนิ่ม
180	40		สุกแบบเนื้อนิ่ม
	50		สุก หนังเริ่มเหลือง
	60		สุก เนื้อเริ่มแข็ง ผิวหนังเริ่มไหม้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของเตาอบดินเผาขดลวดอินฟราเรดในการอบไก่ (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ลักษณะทางกายภาพของไก่ที่ได้จากการอบ	
200	40		สุกพอดี เนื้อนิ่มไม่แข็งมาก หนังกรอบ
	50		สุกเนื้อเริ่มแข็ง ผิวหน้าเริ่มไหม้
	60		สุกเนื้อแข็ง ผิวหนังไหม้

การเตรียมแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้วัสดุรีไซเคิลHDPE และวัสดุไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทย

Preparation of electromagnetic wave absorber plate using recycled HDPE and micro materials fromnatural Thai Ilmenite minerals

วิษณุ เจริญถนอม[1] ณรงค์ชัย โอเจริญ1 ศราวุธ ใจเย็น[2] และ สรพงษ์ ภวสุปรีย์[1*]

Wissanu Charerntanom[1]Narongchai O-Charoen[1]Sarawut Jaiyen[2]

andSorapong Pavasupree[1]*

[1]ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[1]Department of Materials and Metallurgical Engineering , Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

[2]Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

E-mail: sorapong.p@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

การเพิ่มของประชากรการขยายตัวทางเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม จากความต้องการบริโภคทรัพยากรที่เพิ่มมากขึ้นขยะพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติซึ่งส่วนหนึ่งคือบรรจุภัณฑ์พลาสติก นอกจากนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave, EM wave) มีความจำเป็นในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น วิทยุ ทีวี PC Tablet Wireless LAN บลูทูธ และอุปกรณ์ไมโครเวฟ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกสร้างออกมาอาจส่งผลรบกวนระบบการทำงานของเครื่องมือต่างๆได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์และระบบสื่อสารในเครื่องบิน ซึ่งสามารถใช้วัสดุไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้แร่อิลเมไนท์ธรรมชาติของไทยที่มีส่วนประกอบของสารไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารหลัก(TiO_2~ 50-60 %) นำมาผสมกับวัสดุรีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene: HDPE) ที่เป็นขยะพลาสติกนี้นำกลับมาใช้ใหม่ โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับวัตถุดิบในประเทศ (ขนาดตัวอย่าง 60 mm x 60 mmx 3 mm) พบว่าแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic absorber materials) สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงคลื่นรังสีแกมมา (γ- ray) และ รังสีเอกซ์ (X-ray region) ได้

Abstract

Population growth,economic growth and technological progressare cause of environmental problemsfrom plastic packagingwastes. Electromagnetic wave (EM wave) is necessary for human daily life because EM wave can be applied for various applications such as radio, TV, tablet, wireless, LAN, bluetooth and microwave devices. Electromagnetic wave may interfere with the operation systems in medical equipment and communication systems in aircraft. Titanium dioxide (TiO_2) is an electromagnetic wave absorber. In this study, micro size Thai natural ilmenite minerals (TiO_2 ~ 50-60 %) were mixed with recycled high density polyethylene (HDPE) for electromagnetic wave absorber (sample size 60 mm x 60 mmx 3 mm). The results showed that the prepared samples could absorbed electromagnetic wave in grammar ray (γ- ray) and X-ray region.

คำหลัก : วัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, ไททาเนียมไดออกไซด์, วัสดุไมโคร, แร่อิลเมไนท์

Keywords : electromagnetic wave absorber materials, titanium dioxide, micro materials, ilmenite minerals

1. บทนำ

ในปัจจุบันมนุษย์มีการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความความต้องการทางด้านพลังงาน และการบริโภคที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ประสบปัญหาขยะล้นเมือง เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจาก ขยะบางส่วนเป็นขยะพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งสวนใหญ่เป็นบรรจุภัณฑ์ และเนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทำให้มีการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ถูกแบ่งออกเป็นหลายย่าน เช่น VHF UHF L Band S Band W band เป็นต้น ซึ่งแต่ละย่านความถี่มีการนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น วิทยุ ทีวี PC Tablet Wireless LAN บลูทูธ อุปกรณ์ไมโครเวฟ เป็นต้น เนื่องจากเป็นสิ่งที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า อาจส่งผลรบกวนระบบการทำงานของเครื่องมือต่างๆได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุปกรณ์เครื่องมือแพทย์และระบบสื่อสารในเครื่องบิน จึงมีงานวิจัยทางด้านความปลอดภัยจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic absorber materials) ซึ่งปัจจุบันมีรายงานการวิจัยหลายฉบับรายงานว่าสามารถใช้วัสดุไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในช่วงคลื่นไมโครเวฟและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ด้วยการเติมเหล็กไอออนหรือ นิเกิลไอออน ลงไปในไททาเนียมไดออกไซด์[1-4] ซึ่งแร่ที่ได้เลือกมานำมาใช้เป็นแร่อิลเมไนท์ธรรมชาติของไทยที่มีส่วนประกอบของสารไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารหลัก (TiO_2~ 50- 60 % มีโครงสร้างผลึกเป็น *Rutile*)[5-9] อุตสาหกรรมพลาสติกของประเทศไทยได้เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้ปริมาณการใช้พลาสติกในประเทศเพิ่มมากขึ้นทุกวัน ดังนั้นขยะจากพลาสติกจึงเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ พลาสติกถูกใช้ทำบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงพลาสติก, ขวดพลาสติก เป็นต้น ขวดพลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดหนึ่งและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene: HDPE) ก็เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่ใช้ทำขวดพลาสติก ซึ่งพลาสติกจำพวกนี้เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก จึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จากการสืบค้นยังไม่มีรายงานวิจัยการประยุกต์ใช้แร่กับรีไซเคิล HDPE เพื่อใช้เป็นแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเอาขยะพลาสติกนี้นำกลับมาใช้ใหม่ โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับวัตถุดิบในประเทศคือแร่อิลเมไนท์จาก จ.ประจวบคีรีขันต์ โดยได้รับความร่วมมือจาก บริษัท สินแร่ สาคร จำกัด ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเตรียมแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยวัสดุรีไซเคิลขวด HDPE และวัสดุนาโน/ไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทย โดยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยาก เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้และวัตถุดิบในประเทศ

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1 เพื่อเตรียมวัสดุนาโน/ไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทยด้วยชุดสังเคราะห์ที่ผลิตเองในประเทศ

2 เพื่อเตรียมแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้วัสดุรีไซเคิลขวด HDPE และวัสดุนาโน/ไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทย

3 เพื่อศึกษาสมบัติการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแผ่นวัสดุรีไซเคิลขวด HDPE และวัสดุนาโน/ไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทย

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) เป็นสิ่งที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า อาจส่งผลรบกวนระบบการทำงานของเครื่องมือต่างๆได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุปกรณ์เครื่องมือแพทย์และระบบสื่อสารในเครื่องบิน จึงมีงานวิจัยทางด้านความปลอดภัยจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic absorber materials) ซึ่งปัจจุบันมีรายงานการวิจัยหลายฉบับรายงานว่าสามารถใช้วัสดุไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี [1-4]

ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นวัสดุที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น สี ตัวเร่งปฏิกิริยา เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ เซรามิกทางไฟฟ้า เซ็นเซอร์ และสารลดทอนแสง UV เป็นต้น[5-9]

กรอบแนวคิด

โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเอาขยะพลาสติกนี้นำกลับมาใช้ใหม่ โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับวัตถุดิบในประเทศคือแร่อิลเมไนท์จาก จ.ประจวบคีรีขันต์ โดยได้รับความร่วมมือจาก บริษัท สินแร่ สาคร จำกัด ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเตรียมแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยวัสดุรีไซเคิลขวด HDPE และวัสดุนาโน/ไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทย โดยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยาก เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้และวัตถุดิบในประเทศ

4. วิธีการวิจัย (Methodology)

ขั้นตอนการเตรียมแร่และการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

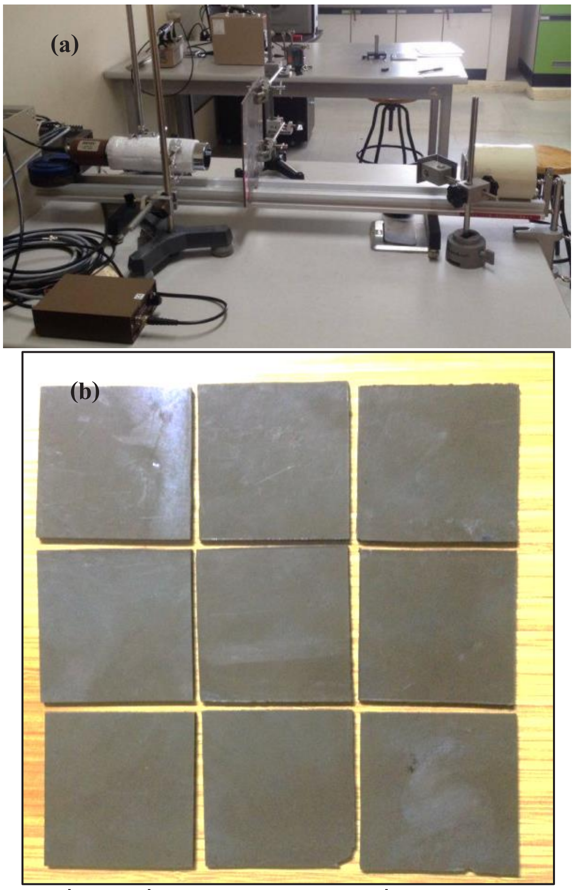
การเตรียมผงแร่อิลเมไนท์ขนาดไมโครที่ใช้ในงานวิจัยด้วยวิธีการนำแร่รูไทล์ไปบดด้วยเครื่องบดแบบ Ball Mill ด้วยความเร็ว 650 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที แร่อิลเมไนท์ที่ผ่านกระบวนการบดแล้วทำให้มีขนาดเล็กละเอียดเพื่อไปสู่กระบวนการต่อไป โดยนำแร่อิลเมไนท์บดไปผสมกับรีไซเคิล HDPE ซึ่งมาจากขวดพลาสติกบรรจุภัณฑ์ ในอัตราส่วนผสม 25, 50, และ 75% ผสมด้วย เครื่องผสม2 ลูกกลิ้ง (two rollmill)ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 15 นาทีอัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression Molding ที่อุณหภูมิ 180 °Cเป็นเวลา 15 นาที เพื่อผลิตชิ้นงานในการทดสอบขนาด 20 x 20 cm

ขั้นตอนการทดสอบ

นำตัวอย่างที่ได้ไปตรวจสอบโครงสร้างผลึก โครงสร้างผลึกของตัวอย่างที่ได้จะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction: X’Pert PRO MPD, PANalytical, Natherlands) โครงสร้างและสัณฐานวิทยาของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM: JSM-6510, JEOL, Japan) ตามลำดับ

ขั้นตอนการวัดการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

วัดการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้แหล่งกำเนิดคือธาตุ Americium -241 ซึ่งปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นรังสีแกมมา (γ- ray) และ รังสีเอกซ์ (X-ray)ใช้ตัวรับสัญญาณ NaI Detector บริษัท ORTECโดยที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดและตัวอย่างคือ 50cm และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดถึงตัวรับสัญญาณคือ 60 cm ดังรูปที่1

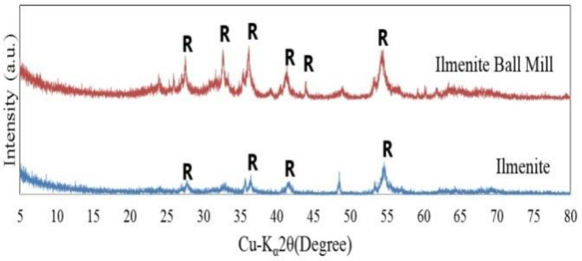


รูปที่1 (a)เครื่องทดสอบการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นรังสีแกมมา (γ- ray) และรังสีเอกซ์ (X-ray region) และ (b) รูปชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

5. ผลการวิจัย (Results)

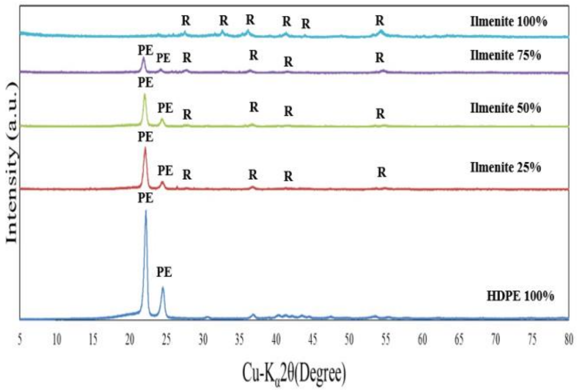
จากการทดลองพบว่าแร่อิลเมไนท์และแร่อิลเมไนท์ที่ผ่านกระบวนการบดลดขนาดมีโครงสร้างผลึกแบบ รูไทล์ (Rutile) และพบว่าเมื่อผ่านกระบวนการบดทำให้โครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ (Rutile) เพิ่มมากขึ้น [6-9] ดังรูปที่ 2 เมื่อทดสอบแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผสมแร่อิลเมไนท์พบว่าเมื่อมีการเติมแร่อิลเมไนท์เพิ่มมากขึ้นทำให้ความเป็นผลึกของ HDPE มีค่าลดลง และพบโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ในแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการ

เติมแร่อิลเมไนท์ลงไปในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 3



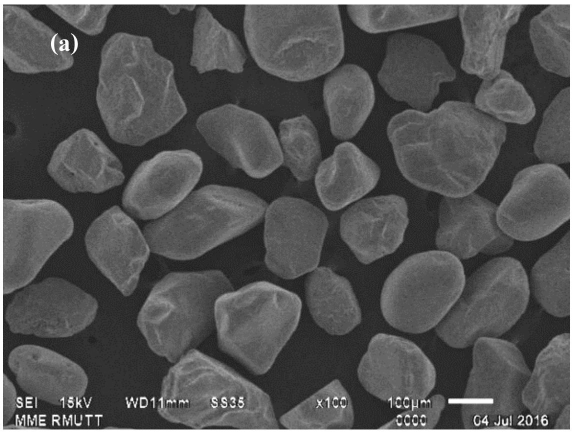
รูปที่ 2 โครงสร้างผลึกของแร่อิลเมไนท์และแร่อิลเมไนท์บด

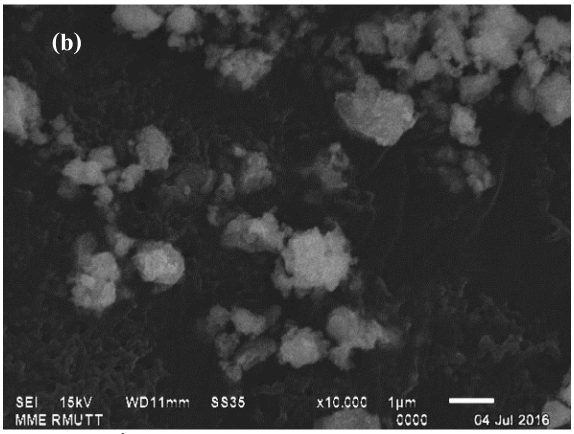
A= Anatase R= Rutile



รูปที่ 3 โครงสร้างผลึกของพลาสติก Recycle HDPE ที่ผสมกับแร่อิลเมไนท์บด PE=crystalline of PE A= Anatase R= Rutile

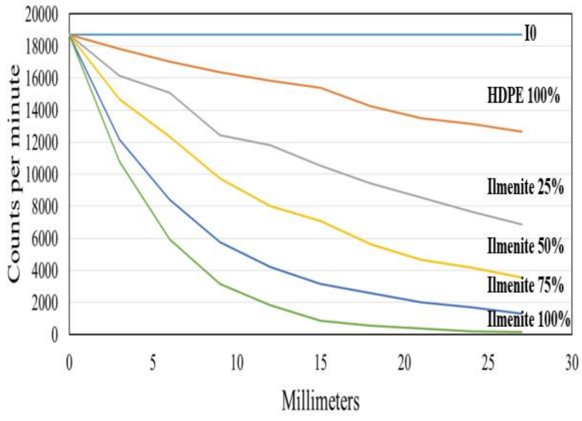
โครงสร้างทางจุลภาคและลักษณะทางกายภาพของแร่อิลเมไนท์มีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ด มีขนาดประมาณ 100 – 250 µm ดังรูปที่ 4(a) และเมื่อผ่านกระบวนการบดด้วยเครื่อง Ball Mill เป็นเวลา 1 ชม. ได้แร่อิลเมไนท์บดที่มีอนุภาคเล็กลงมีขนาดประมาณ 0.10– 1.60µm ดังรูปที่ 4.(b)





รูปที่ 4.(a)แร่อิลเมไนท์(b)แร่อิลเมไนท์บด

ผลการทดลองพบว่าแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยวัสดุรีไซเคิลขวด HDPE และวัสดุนาโน/ไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทย สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานได้และมีการกระจายตัวของวัสดุนาโน/ไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทยได้ดีกว่าการผสมแบบ dry blend เนื่องจากมีการผสมด้วยเครื่องผสม2 ลูกกลิ้ง (two rollmill)ก่อนการขึ้นรูป และสามารถลดทอนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นรังสีแกมมา (γ- ray) และ คลื่นรังสีเอ็กซ์ (X-ray) ได้โดยแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผสมแร่อิลเมไนท์เมื่อมีการเติมแร่อิลเมไนท์ลงไปที่ 25% ทำให้สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่ของคลื่นรังสีแกมมา (γ-ray) และ คลื่นรังสีเอ็กซ์ (X-ray) ได้ 63% , เมื่อมีการเติมแร่อิลเมไนท์ลงไปที่ 50 % ทำให้สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ 81 % และเมื่อมีการเติมแร่อิลเมไนท์ลงไปที่ 75 % ทำให้สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ 93 % ที่ความหนา 27 มิลลิเมตร และเมื่อใช้แร่อิลเมไนท์ 100 % ทำให้สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้มากกว่า 99 % ที่ความหนา 27 มิลลิเมตร ทำให้สามารถเป็นวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic absorber materials) ซึ่งช่วงคลื่นที่สำคัญช่วงหนึ่งคือ ช่วงคลื่นของรังสีแกมมา และรังสีเอ็กซ์ เนื่องจากเป็นช่วงคลื่นที่มีการใช้ในด้านการศึกษา การวิจัย ทางการแพทย์ ปัจจุบันมีรายงานการวิจัยหลายฉบับรายงานว่าสามารถใช้วัสดุไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี[1-4,10-11]ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลของการกำบังรังสีของแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัสดุรีไซเคิล HDPE กับแร่อิลเมไนท์

6. สรุป

ผลการทดลองพบว่าแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยวัสดุรีไซเคิลขวด HDPE และวัสดุนาโน/ไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทย สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานได้และมีการกระจายตัวของวัสดุนาโน/ไมโครจากแร่อิลเมไนท์ของไทยได้ดีเนื่องจากมีการผสมด้วยเครื่องผสม2 ลูกกลิ้ง (two rollmill)ก่อนการขึ้นรูป และสามารถลดทอนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นรังสีแกมมา (γ- ray) และรังสีเอ็กซ์ (X-ray)ได้ โดยแผ่นดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผสมแร่อิลเมไนท์พบว่าเมื่อมีการเติมแร่อิลเมไนท์เพิ่มมากขึ้นทำให้สามรถดูซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่ของคลื่นรังสีแกมมา (γ- ray) และรังสีเอ็กซ์ (X-ray) เพิ่มมากขึ้น โดยสามารถลดทอนคลื่นรังสีเอ็กซ์ ได้มากกว่า 93 % ที่ ความหนา 27 มิลลิเมตร ในอัตราส่วน แร่อิลเมไนท์75% ทำให้สามารถเป็นวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic absorber materials) ซึ่งช่วงคลื่นที่สำคัญช่วงหนึ่งคือ ช่วงคลื่นของรังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์ เนื่องจากเป็นช่วงคลื่นที่มีการใช้ในด้านการศึกษา การวิจัย ทางการแพทย์ ปัจจุบันมีรายงานการวิจัยหลายฉบับรายงานว่าสามารถใช้วัสดุไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี และเป็นการช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วยการนำเอาขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2560 บริษัทสินแร่สาครจำกัด และกลุ่มวิจัย Nanotechnology for Textile and Polymer Research Group (NanoTeP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Jang, D. H. Song, H. Lee, Y.I. Lee, K.J. Kim, K.H. Oh, S.T. Lee, S.K.Choa, Y.H. (2011). Preparation and characterization of TiO_2coated Fe nanofibers for electromagnetic wave absorber.**Journal of Nanoscience and Nanotechnology**11: 763-767.

[2] Zhao, B. Shao, G. Fan, B. Zhao, W. Zhang, R. (2015).Investigation of the electromagnetic absorption properties of Ni@TiO_2 and Ni@SiO_2 composite microspheres with core–shell structure.**Physical Chemistry Chemical Physics**17: 2531-2539.

[3] Zhu,C.L. Zhang, M.L. Qiao, Y.J. Xiao, G. Zhang, F. Chen,Y.J.(2010).Fe_3O_4/TiO_2Core/Shell Nanotubes: Synthesis and Magnetic and Electromagnetic Wave Absorption Characteristics.**The Journal of Physical Chemistry C**114: 16229–16235.

[4] Yamagami, Y.Irie, M. Sasaki, K. Watanabe, Y. Shirai, Y.(2005).Trial fabrication of W-band absorber by porous TiO_2.**IEICE Technical Report** SANE 2005-6: 29-34.

[5] Fujishima, A. Rao, T.N. Tryk,D.A.(2000). Titaniumdioxidephotocatalysis.**Journal of Photochemistry and Photobiology C Photochemistry Reviews** 1: 1-21.

[6] Pavasupree, S. Laosiripojana, N.Chuangchote, S. Sagawa, T.(2011).Fabrication and utilizations of titania nanofibers from natural leucoxene mineral

for photovoltaic applications.**Japanese Journal of Applied Physics**50: 01BJ16-1-4.

[7] Simpraditpan, A. Wirunmongkol, T. Pavasupree, S. Pecharapa, W. (2013).Simple hydrothermal preparation of nanofibers from a natural ilmenite mineral.**Ceramics International**39: 2497-2502.

[8] Simpraditpan, A.Wirunmongkol, T. Pavasupree, S.Pecharapa,W. (2013). Effect of calcinations on structural and photocatalyst properties of nanofibers prepared from low-cost natural ilmenite mineral by simple hydrothermal method.**Materials Research Bulletin** 48: 3211-3217.

[9] Aphairaj, D.Wirunmongkol,T.Niyomwas,S. Pavasupree,S.Limsuwan,P.(2014). Synthesis of anatase TiO_2 nanotubes derived from a natural leucoxene mineral by the hydrothermal method.**Ceramics International**40: 9241-9247.

[10] Liu, P. Huang,Y. Yang,Y. Yan,J. Zhang, X. (2016). Sandwich structures of graphene@Fe_3O_4 @PANI decorated with TiO_2 nanosheets for enhanced electromagnetic wave absorption properties.**Journal of Alloys and Compounds** 6(62): 63- 68.

[11] Kumar,A.Agarwala,V. Singh,D.(2014). Microwave absorbing behavior of metal dispersed TiO_2Nanocomposites. **Advanced Powder Technology** 25: 483–489.

การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวแกนตั้ง ขนาด 3 กิโลวัตต์

The Analysis of Vertical Axis Wind Turbine 3 kW

ศราวุธ เอกบาง[1]*และ วิรชัย โรยนรินทร์[2]

Sarawut Ekbang[1]*and Wirachai Roynarin[2]

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

E-mail : thai_sarawut@rmutl.ac.th โทร 0-2549-3797 โทรสาร 0-2549-3432

บทคัดย่อ

รายงานการศึกษาวิจัยฉบับนี้ จัดทำเพื่อศึกษาความแข็งแรงโครงสร้างของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวแกนตั้ง ซึ่งใบกังหันลมที่ทำการศึกษามีรูปทรงหยดน้ำรุ่น Roy 1235 สำหรับกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 3 กิโลวัตต์ จำนวนใบกังหันลม 5 ใบ ทำมุม 72 องศา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตรที่ความเร็วลมสูงสุด 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบ 110 รอบต่อนาที ในการศึกษานี้ใช้เทคโนโลยี CAE ช่วยในการวิเคราะห์พบว่าความดันที่กระทำกับโครงสร้างกังหันลมเท่ากับ408.9 ปาสคาลและค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชุดใบกังหันเท่ากับ 11.63 มิลลิเมตร ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณสามเหลี่ยมเท่ากับ 226.71เมกะปาสคาล ความเค้นที่เกิดขึ้นบนขากังหันเท่ากับ 207.87 เมกะปาสคาล ความเค้นที่เกิดขึ้นบนเสากังหันลมเท่ากับ 15.24 เมกะปาสคาล และความเค้นที่เกิดขึ้นบนใบพัดมีค่าเท่ากับ 22.634 เมกะปาสคาล โดยสรุปเมื่อเทียบกับความเข็งแรงของวัสดุแล้วยังมีค่าความปลอดภัยในจุดต่ำสุดที่ประมาณ50เท่าในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ดังนั้นสามารถนำไปติดตั้งใช้งานจริงได้ตามที่ออกแบบไว้จริง

Abstract

This study showed the results of using Computer Aid Engineering for the strength of structural 3 kw Vertical axis wind turbine. The wind machine used airfoil R 1235 for making 5 blades for the analysis. In the factor for CAE analysis of blade angle 72 degree and rotor diameter of 3 meters at wind speed of maximum 90 km/hr and rotational speed of 110 rpm were computed. The results shown that at above parameter, the maximum deflection of 11.63 mm occurred and maximum pressure of overall structure of 408.9 Pa, at blade joint triangle of 226.71 MPa. The maximum stress 207.87 MPa occurred at blade arms ,the tower occurs stress of 15.24 MPa and at the blade itself 22.63 MPa respectively. Therefore, form the results of this study showed that the safety factor compare to the maximum yield stress of material is 50 % which safety to install the vertical wind machine to generate the electrical power application.

คำหลัก: กังหันลมแกนตั้ง,การออกแบบเชิงวิศวกรรม

Keywords: Vertical Axis Wind Turbine, VAWT, Computer Aided Engineering, CAE

1. บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์ความต้องการใช้พลังงานในทุกภาคส่วนนับวันจะยิ่งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเชื้อเพลิงจากแหล่งพลังงานหลักของโลกย่อมค่อยๆลดปริมาณลงตามเวลา พลังงานลม เป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาทดแทนพลังงานในรูปแบบอื่น หากได้มีการพัฒนาการใช้ประโยชน์อย่างจริงจังและมีประสิทธิภาพก็จะเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญและมีประสิทธิภาพ พลังงานลม เป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้ โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า “ กังหันลม ” เป็น ตัวสกัดกั้นพลังงานจลน์ของกระแสลม แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานกลจากนั้นจึงนำพลังงานกลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ จากการศึกษาศักยภาพพลังงานลมทั่วโลก พบว่าเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างมหาศาล ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงพบว่า

เฉพาะในพื้นที่ชายฝั่งของทวีปยุโรปมีพลังงานจากลมถึง 2,500 เทอราวัตต์ชั่วโมง/ปี ซึ่งคิดเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในยุโรปในปี ค.ศ. 1997 (Thomas & Lennart. 2002 : 54) ซึ่งตัวเลขพลังงานลมดังกล่าวนี้อาจแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลความเร็วลมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสมมุติฐานของเทคโนโลยีกังหันลมที่เลือกใช้ในการประเมิน (www.thaigoodview.com) นับตั้งแต่ประเทศไทยต้องเผชิญกับปัญหาวิกฤติการณ์ราคาน้ำมันที่พุ่งสูงขึ้น การพึ่งพาน้ำมันจากต่างประเทศเพียงอย่างเดียวจึงเป็นเรื่องที่หลายฝ่ายเกิดความวิตกกังวลถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อประเทศ พลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกใหม่ในท่ามกลางวิกฤติปัจจุบัน ข้อดีของพลังงานลมที่มีต่อสังคม พบว่าพลังงานลมเป็นพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันหมด กังหันลม คือชุดเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลย์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกล และนำพลังงานกลมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้า โดยทั่วไปกังหันลมแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามแกนหมุนของกังหันลมได้แก่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbines,VAWTs) และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน(Horizontal Axis Wind Turbines,HAWTs) ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์กังหันลมในแนวแกนตั้ง(Vertical Axis Wind Turbines,VAWTs) ซึ่งมีจุดเด่นแตกต่างจากกังหันลมในแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbines,HAWTs) โดยมีความสามารถในการรับแรงลมที่วิ่งเข้ามากระทบใบกังหันได้ทุกทิศทางที่ความเร็วลมต่างๆ โดยไม่ต้องพึ่งชุดส่ายหาทิศทางลม สามารถขยายกำลังการผลิตได้โดยการเพิ่มรัศมีการดูแลบำรุงรักษาทำได้ง่าย กลไกไม่ซับซ้อน ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของพลังงานลมที่มีต่อสังคมในระยะยาวเพื่อให้เกิดการศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานลมเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ให้มีความเหมาะสมกับสภาพและความเร็วลมในประเทศไทยและสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เหมาะสมกับประเทศไทยหรือประเทศอื่นๆที่มีศักยภาพพลังงานลมใกล้เคียงกัน

โดยหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับงานจริงในปัจจุบันต้องเลือกใช้วัสดุที่มีโครงสร้างแข็งแรง มีน้ำหนักเบา ใช้วัสดุน้อย ต้นทุนต่ำ หลีกเลี่ยงการลองถูกลองผิด ดังนั้นงานออกแบบผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนต่างๆและการบำรุงรักษาต้องประยุกต์ใช้เทคโนโลยี CAE เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจริงโดยสามารถนำชิ้นงานจริงมาฝึกวิเคราะห์ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการสร้างแบบจำลองในเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการทดสอบทางวิศวกรรมภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริงที่จำลองขึ้นในซอฟท์แวร์ที่ช่วยในการลดต้นทุนจากการลองผิดลองถูกลดเวลาขั้นตอนในการออกแบบลดวัสดุที่ไม่จำเป็น โดยผ่านการสร้างโมเดลจำลอง การเลือกและปรับแต่งขนาดรูปทรงให้เหมาะสม การกำหนดขนาดคุณสมบัติวัสดุ ใช้เทคโนโลยี CAE ช่วยวิเคราะห์จนสามารถแก้ไขปัญหาในงานนั้นๆได้

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติและการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวแกนตั้งและศึกษาคุณสมบัติความแข็งแรงของโครงสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าในแนวแกนตั้งโดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

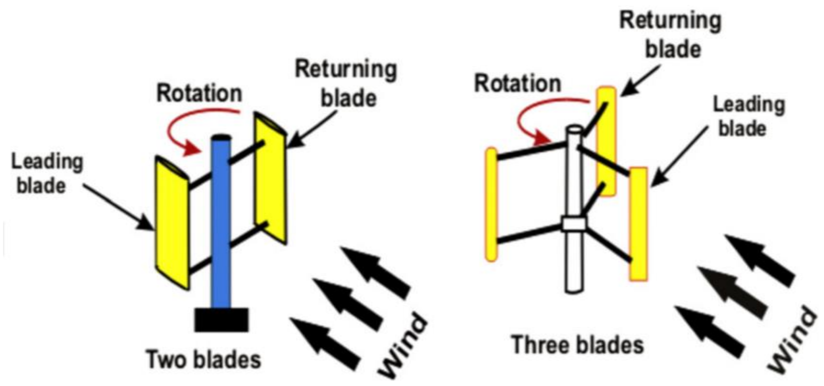
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกังหันลมผลิตไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลองเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์โดยอาศัยทฤษฎีต่างๆ เช่น ทฤษฎีของลม หลักการของงานและพลังงาน ทฤษฎีใบพัดกังหันลมรวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พลังงานลม (Wind Energy) คือ การเคลื่อนตัวของอากาศที่มีความแตกต่างทางด้านอุณหภูมิและความดัน เนื่องจากได้รับความร้อนจากแสงแดดที่ไม่เท่ากัน ทำให้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงความหนาแน่นจะต่ำลอยขึ้นด้านบนและเมื่ออากาศที่มีอุณหภูมิต่ำความหนาแน่นจะสูงเคลื่อนที่เข้ามาแทน ทำให้เกิดเป็นพลังงานจลน์รูปหนึ่ง ที่เรียกว่า “ลมพัด” พลังงานลมมีอยู่ตามธรรมชาติโดยทั่ว ๆ ไปไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำมาใช้และไม่ต้องนำเข้าจาก

ต่างประเทศเหมือนกับน้ำมันเชื้อเพลิง และเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากพลังงานลมสามารถจะนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่มีวันหมดไปจากโลกใบนี้ถ้าโลกยังคงหมุนและมีแสงแดดอยู่ ดังนั้นเราจึงต้องหาอุปกรณ์ที่จะเปลี่ยนพลังงานจลน์ของลมให้มาเป็นพลังงานกลและเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเป็นที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับอยู่ในขณะนี้ถือว่าเป็นเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มีชื่อเรียกว่า กังหันลม (Wind turbine)

ทฤษฎีการวิเคราะห์โดยใช้หลักการของ Momentum Theory นั้น ในเบื้องต้นจะต้องทำการตั้งสมมุติฐาน (Assumption) ขึ้นมาก่อน ดังนี้ การทำงานของกังหันลมจะเกี่ยวข้องและมีความสัมพันธ์กับความเร็วลมในการทำงาน

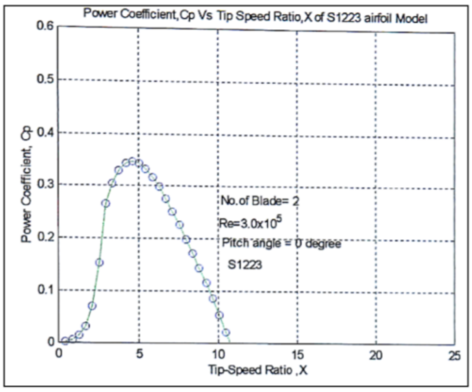
ประเทศไทยอยู่ใกล้เขตเส้นศูนย์สูตรทำให้ได้รับแรงลมเฉลี่ยทั้งปีต่ำถึงปานกลางจำเป็นต้องศึกษารูปแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมกับความเร็วลมที่มีอยู่ในประเทศ

รูปแบบกังหันลมที่เหมาะสมสามารถทำงานได้ดีมีความเหมาะสมกับความเร็วลมเฉลี่ย 5-6 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมในประเทศที่มีอยู่เป็นส่วนใหญ่ และมีความสามารถในการผลิตเต็มกำลังการผลิตสูงสุดที่ความเร็วลมไม่เกิน10 เมตรต่อวินาที เป็นรูปแบบกังหันลมที่มีความเหมาะสมสำหรับความเร็วลมต่ำไปจนถึงระดับความเร็วลมปานกลาง



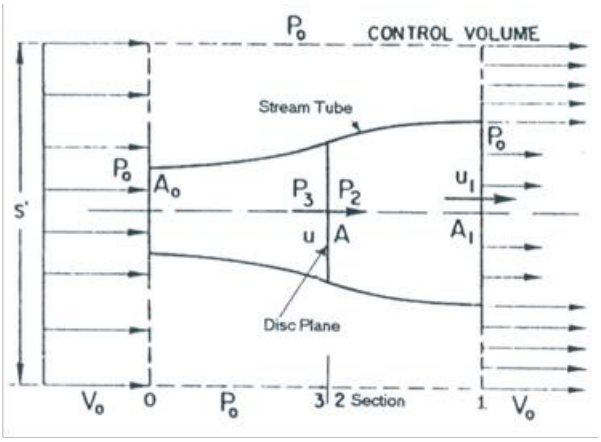
รูปที่ 1 กังหันลมหมุนแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine,VAWT)

ที่มา : M.H. Mohamed.Performance investigation of H-rotor Darrieus turbine with new airfoil shapes. Helwan University;2012.



รูปที่ 2 แสดง Power Cure ของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ที่มา : Roynarin W. Optimisation of vertical axis wind turbines.Northumbria University;2004



รูปที่ 3 แสดงภาพหลักการ Momentum theory

ที่มา : Roynarin W. Optimisation of vertical axis wind turbines.Northumbria University;2004

จาก Power in the wind

$$P = \frac{1}{2}\rho A v^3 \qquad (1)$$

เมื่อ P คือ กำลังงานของกังหันลม (Watt)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศมีค่า 1.225 kg /m³

A คือ พื้นที่รับลมของชุดกังหันลมหาจาก

v คือ ความเร็วลม (m/s)

แรงบิดที่กังหันลมได้รับ

$$T = \frac{P}{\omega} \qquad (2)$$

T คือ แรงบิด (N.m)

P คือ กำลังงานของกังหันลม (Watt)

ω คือ ความเร่งเชิงมุม (rad / sec)

จาก $$\omega = \frac{2\pi T N}{60} \qquad (3)$$

N คือ จำนวนรอบในการหมุน (rpm)

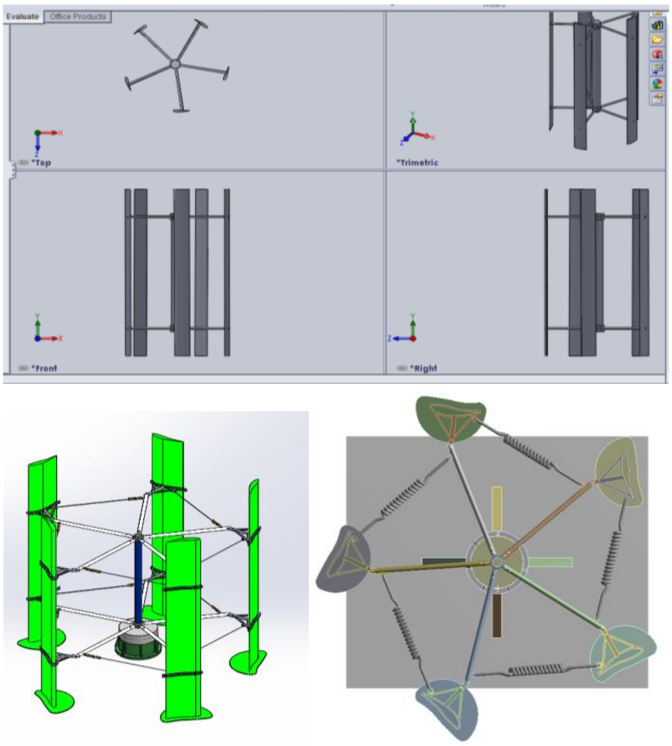
หรือ $$\omega = \frac{v}{r} \qquad (4)$$

v คือ ความเร็ว (rpm)

r คือ รัศมีใบกังหันลม (m)

4. ระเบียบวิธีการวิจัย

งานศึกษาวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยมีขั้นตอนการทำงานขั้นตอนดังนี้ คือ สร้างแบบจำลอง Cad Model ส่งเข้าโปรแกรมวิเคราะห์ CAE ตรวจสอบขนาดรูปทรงให้ถูกต้อง ป้อนคุณสมบัติวัสดุ กำหนดสภาวะงานที่เกิดขึ้นจริง ตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ประมวลผลการคำนวณ แสดงผลการคำนวณและให้คำตอบ วิเคราะห์ผล



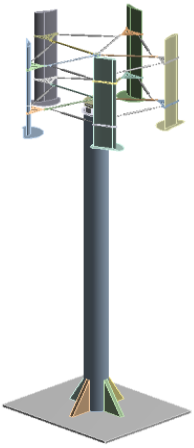
รูปที่ 4 แบบจำลองการจับยึดใบกังหันลมแนวแกนตั้ง

ที่มา: ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ร่วมกับ ศูนย์บริการปรึกษาการออกแบบและวิศวกรรม(DECC)

ตารางที่ 1 ค่า คุณสมบัติของโครงสร้างกังหันลมแนวแกนตั้ง

ที่มา: ศูนย์บริการปรึกษาการออกแบบและวิศวกรรม (DECC) สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ(สวทช.)

Material	Density (g/cc.)	Elastic Modulus (GPa)	Poisson’ ratio	Yield Strength (MPa)
Steel	7.85	205	0.3	250
E-Glass	2.64	77	0.19	1,080-3,345

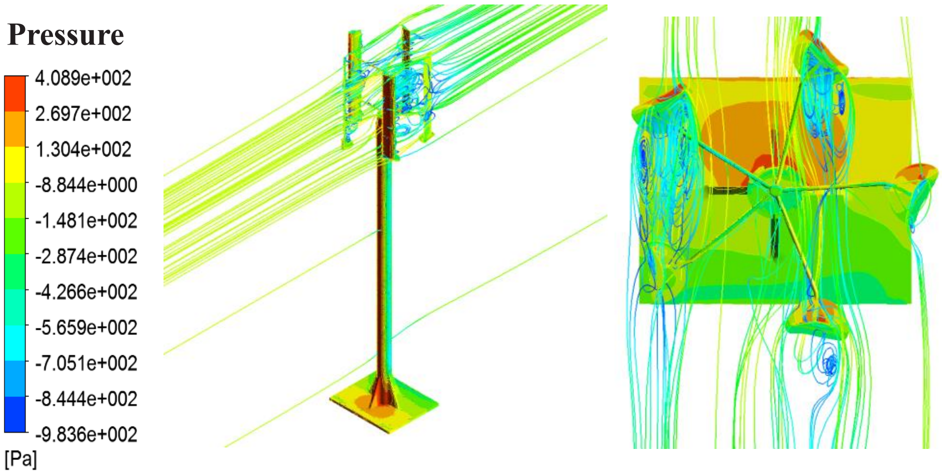


รูปที่ 5 แบบจำลองโครงสร้างกังหันลมแนวแกนตั้ง

ที่มา: ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ร่วมกับ ศูนย์บริการปรึกษาการออกแบบและวิศวกรรม(DECC)

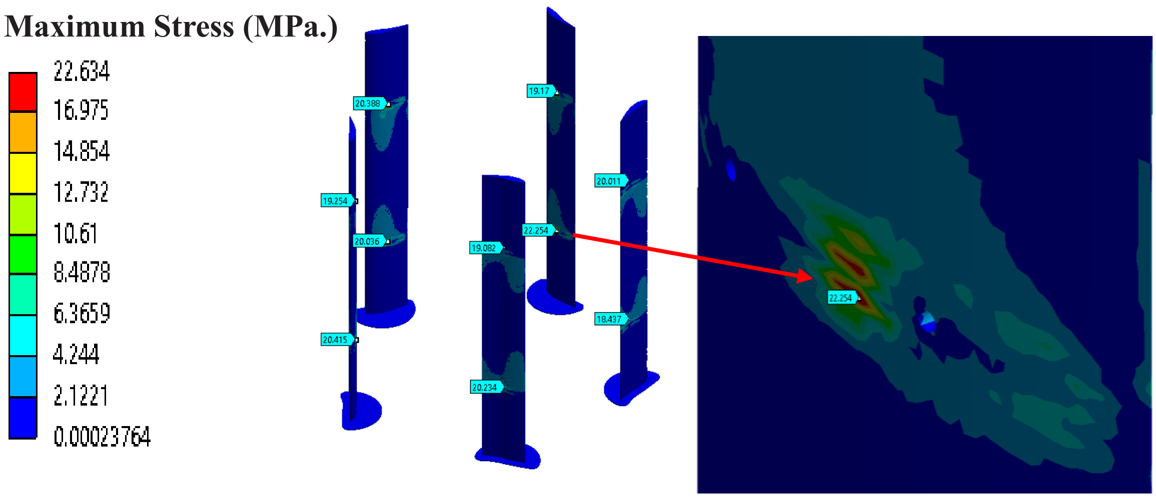
5. ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ความแข็งแรงของโครงสร้างของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวแกนตั้งที่ความเร็วลม 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีความเร็วในการหมุนของใบกังหันเท่ากับ 110รอบต่อนาทีพบว่าความดันที่กระทำกับโครงสร้างกังหันลมเท่ากับ408.9 ปาสคาลและค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชุดใบกังหันเท่ากับ 11.632 มิลลิเมตร ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณสามเหลี่ยมเท่ากับ 226.71เมกะปาสคาลความเค้นที่เกิดขึ้นบนขากังหันเท่ากับ 207.87 เมกะปาสคาล ความเค้นที่เกิดขึ้นบนเสากังหันลมเท่ากับ 15.24 เมกะปาสคาล และความเค้นที่เกิดขึ้นบนใบพัดมีค่าเท่ากับ 22.634 เมกะปาสคาล



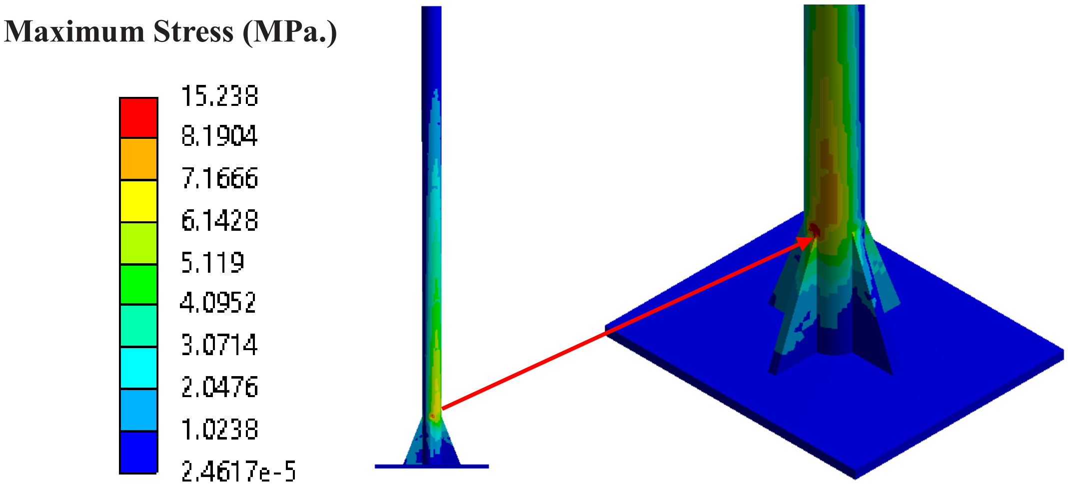
รูปที่ 6 การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยประมวลผลงานทางวิศวกรรม

ที่มา: ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ร่วมกับ ศูนย์บริการปรึกษาการออกแบบและวิศวกรรม(DECC)



รูปที่ 7 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองใบกังหันลม

ที่มา: ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ร่วมกับ ศูนย์บริการปรึกษาการออกแบบและวิศวกรรม(DECC)



รูปที่ 8 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับแกนเสากังหันลม

ที่มา: ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ร่วมกับ ศูนย์บริการปรึกษาการออกแบบและวิศวกรรม(DECC)

6. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ความแข็งแรงของโครงสร้างของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวแกนตั้ง ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณสามเหลี่ยมเท่ากับ 226.71เมกะปาสคาลมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.10 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนขากังหันเท่ากับ 207.87 เมกะปาสคาลมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.20 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนเสากังหันลมเท่ากับ 15.24 เมกะปาสคาล มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ16.40และความ

เค้นที่เกิดขึ้นบนใบพัดมีค่าเท่ากับ 22.634 เมกะปาสคาล มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 50

7. สรุป

จากผลการศึกษาวิจัยทำให้ทราบว่าการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแนวแกนตั้ง ที่ความเร็วลมสูงสุด 90 km/hr โครงสร้างกังหันลม เลือกใช้วัสดุกลุ่ม mild steel มีค่าความแข็งแรงที่จุด yield point เท่ากับ 250 MPa และใบกังหันลมที่ทำการศึกษามีรูปทรงหยดน้ำรุ่น Roy 1235 เลือกใช้วัสดุกลุ่ม E-Glassมีค่าความแข็งแรงที่จุด yield point อยู่ในช่วง 1,080ถึง 3,345 MPa ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ แสดงค่าความแข็งแรงของวัสดุที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าจุด yield point ของวัสดุ ทั้งสองชนิด

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาวิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือข้อมูลและองค์ความรู้ด้านกังหันลม ขอขอบคุณศูนย์บริการปรึกษาการออกแบบและวิศวกรรม(DECC)สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ(สวทช.) ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการศึกษาวิเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีCAE และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา สำหรับทุนในการศึกษาระดับปริญญาโท

9. เอกสารอ้างอิง

[1] วิรชัย โรยนรินทร์. **“รายงานการศึกษาวิจัยพัฒนาสาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วลมต่ำ”**, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,2551.

[2] Roynarin W. **Optimisation of vertical axis wind turbines**.Northumbria University;2004.

[3] F.S. David M.Eggleston and Forrest S.Stoddard. “**Wind Turbine Engineering Design**”, Van nostrand reinhold company.

[4] M.H. Mohamed.**Performance investigation of H-rotor Darrieus turbine with new airfoil shapes**. Helwan University;2012.

ระบบผลิตและส่งจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรระดับชุมชน และการประยุกต์ใช้ร่วมกับเตาถ่าน

Biogas Production and Supply System of Swine Farm in Community Scale and Application with Brazier

นิลวรรณ ไชยทนุ[1*] ศรีธร อุปคำ[1] ภาสวรรธน์ วัชรดำรงศักดิ์[1] อัจฉรา จันทร์ผง[1]
และ วิสูตร์ ยังพลขันธ์[2]

Ninlawan Chaitanoo[1*], Passawat Wacharadumrongsak[1], Srithorn Aoopkham[1],
Autchara Junphong[1] and Visuht Youngplokun[2]

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

[2]บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) 555 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

[1]Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna , 128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

[2]PTT Public Company Limited, 555 Vibhavadi Rangsit Road, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอความสำเร็จของชุมชนบ้านสันฮกฟ้า ตำบลสันทราย อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ที่ถือเป็นชุมชนต้นแบบพลังงานทดแทนด้านพลังงานก๊าซชีวภาพ ได้นำของเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรมาพิจารณาจนเกิดแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อชุมชน โดยทำการออกแบบและสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ขนาด 100 ลูกบาศก์เมตร และ 60 ลูกบาศก์เมตร อย่างละ 1 บ่อ ทำการสร้างสถานีส่งและติดตั้งระบบท่อส่งก๊าซได้ครบ 32 ครัวเรือน กับ 1 วัด ให้สามารถใช้ในการหุงต้มอาหารได้อย่างเพียงพอ และได้จัดให้สมาชิกในชุมชนทุกท่านถือสิทธิความเป็นเจ้าของระบบก๊าซชีวภาพ เพื่อให้มีความรับผิดชอบช่วยกันบริหารจัดการให้สามารถใช้ระบบก๊าซชีวภาพนี้ได้อย่างยั่งยืน อีกทั้งยังได้มีการพัฒนาเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงให้เหมาะสมใช้งานกับก๊าซชีวภาพได้ทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนถึง 22% ในขณะที่เตาแก๊ส KB-5 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพียง 17% ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งด้านเวลาในการหุงต้มและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

Abstract

The purpose of this study is to present the achievements of Ban Hock Fah which located in Tambol San Sai, Phrao district, Chiang Mai. This community is considered to be a model in management of biogas energy. They manage waste from swine farms to be useful energy and utilize in their household. A100 m^3-fix dome and a 60 m^3-covered lagoon were designed and constructed to biogas digester. A distributed station and gas pipeline were created and installed for sufficient 32 households with one temple that can be enough cooking. For the business management, all villagers in community were the owner and helping together to manage which is the way to sustainable development. Moreover, a high efficiency brazier was development to well use with biogas fuel. It had thermal efficiency of 22% while the KB-5 stove had the thermal efficiency of 17%. The results showed that a cooking time and fuel consumption were different.

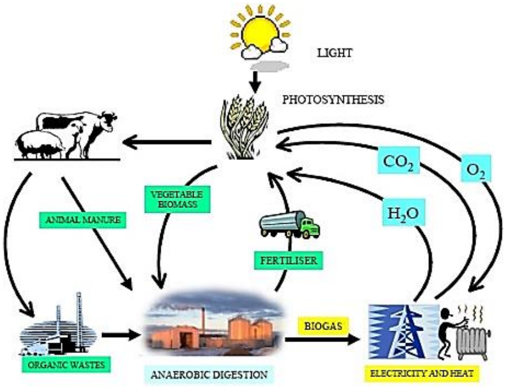
คำหลัก: ระบบก๊าซชีวภาพ ชุมชน การจัดการชุมชน และ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง

Keywords: Biogas System, Community, Community Management and High Efficiency Brazier

1. บทนำ

ปัญหาน้ำเน่าเสียส่งกลิ่นเหม็นรบกวน ยังคงเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบแก่ผู้อยู่อาศัยในระแวกใกล้เคียง ดังเช่นชาวบ้านชุมชนบ้านสันฮกฟ้า ตำบลสันทราย อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ที่ประสบปัญหาจากฟาร์มสุกรในหมู่บ้านที่ยังขาดการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมที่ดี มีการปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ทำให้เกิดปัญหาด้านกลิ่นและน้ำเน่าเสียตามมา เมื่อระบบ

ก๊าซชีวภาพ คือ ระบบจัดการกับของเสียเพื่อการปรับปรุงสภาพแวดล้อม โดยวิธีทางชีวภาพโดยไม่ใช้อากาศจากการนำสารอินทรีย์หรือมูลสัตว์ไปหมักโดยวิธีชีวภาพเพื่อให้กลุ่มจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายมูลสัตว์เหล่านั้นและเกิดเป็นก๊าซชีวภาพที่สามารถจุดติดไฟได้ โดยมีก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบหลัก50-70% และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50% ก๊าซชีวภาพจึงสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนจากพลังงานเชื้อเพลิงอื่น ๆ ได้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบชีวภาพจะกลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพดี [1] ดังรูปที่ 1 แสดงวัฏจักรของระบบก๊าซชีวภาพ ซึ่งหลักการนี้สามารถตอบโจทย์ชุมชนนี้ได้โดยเฉพาะการนำก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มาใช้เป็นก๊าซหุงต้มทดแทนการใช้เชื้อเพลิงเดิมเช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หรือชื่อเรียกทั่วไปคือ ก๊าซหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas, LPG) และ ฟืนไม้ ซึ่งต้องทำการซื้อหาทำให้เกิดค่าใช้จ่ายขึ้นเฉลี่ยครอบครัวละ 300 บาทต่อเดือน ประกอบกับชาวบ้านในพื้นที่ส่วนใหญ่ทำอาชีพเกษตรกรรมซึ่งต้องใช้ปุ๋ยในการเพาะปลูก น้ำเสียหรือกากของแข็งที่ผ่านการบำบัดจากระบบก๊าซชีวภาพแล้วจึงเป็นประโยชน์และจะสามารถช่วยลดต้นทุนการเกษตรลงได้ ข้อมูลข้างต้นถือเป็นการอนุรักษ์พลังงานและช่วยลดสภาวะโลกร้อน



รูปที่ 1 แสดงวัฏจักรของระบบก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ได้มาภายหลังการผลิตจำเป็นต้องมีการจัดการการใช้พลังงานให้คุ้มค่าและเพียงพอต่อการใช้งานของสมาชิกในชุมชน เทคโนโลยีเตาสำหรับใช้หุงต้มอาหารที่ประหยัดพลังงานเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในระบบตามที่ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ริเริ่มพัฒนาเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงหรือเตาซุปเปอร์อั้งโล่ และได้ปรับปรุงประสิทธิภาพ มาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี ทำให้ได้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง มีประสิทธิภาพสูงถึง 29% เทียบกับเตาหุงต้มทั่วไปที่มีประสิทธิภาพประมาณ 20% และส่งเสริมสนับสนุนให้มีการผลิตและใช้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านและไม้ฟืน [2] หรือแม้แต่ก๊าซหุงต้มถือเป็นการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของครัวเรือนตลอดจนเป็นการส่งเสริมอาชีพการผลิตเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงให้แพร่หลายมากขึ้นด้วย

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาระบบผลิตและส่งจ่ายก๊าซจากฟาร์มสุกรระดับชุมชนและการประยุกต์ใช้ร่วมกับเตาถ่าน

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. น้ำเสียหรือของเสียฟาร์มสุกรประกอบไปด้วยสารอินทรีย์เป็นหลักถือเป็นวัสดุชีวภาพ เมื่อนำมาบำบัดในกระบวนการชีวเคมี ในระบบปิดไร้อากาศหรือกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ จะทำให้เกิดเป็นพลังงานในรูปของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก ซึ่งสามารถทำให้เกิดเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มชั้นดีมีคุณสมบัติใกล้เคียง LPG และช่วยลดกลิ่นเหม็นระบบกวนจากน้ำเสีย ดังสอดคล้องกับ จิรกุล และ วีรชัย (2546) ศึกษาและประเมินก๊าซชีวภาพควบคุมระบบกกลูกสุกร โดยใช้ก๊าซชีวภาพ ผลการประเมินการผลิตก๊าซชีวภาพในบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 800 ลูกบาศก์เมตร พบว่าสามารถผลิตก๊าซได้วันละ 102 ลูกบาศก์เมตร ได้พลังงานเทียบเท่าโพรเพน 45 กิโลกรัม [3] พร้อมทั้ง ธัชกร และคณะ (2557) ได้ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรม รวมถึงการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อผลการตัดสินใจลงทุนสำหรับผู้ประกอบการ ผลการวิจัยสรุปได้ว่า น้ำเสียอุตสาหกรรมทั้ง 5 ประเภททั่วประเทศไทย ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมประเภทแป้ง โรงงานอุตสาหกรรมประเภท

น้ำมันปาล์ม โรงงานอุตสาหกรรมประเภทเอทานอล โรงงานอุตสาหกรรมประเภทแปรรูปอาหาร และอุตสาหกรรมประเภทแปรรูปยาง มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีรวมถึงเทคโนโลยีในการผลิตก๊าซชีวภาพหรือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นสูงในค่าซีโอดีและบีโอดี เพื่อลดค่าใช้จ่ายภายในโรงงาน ช่วยรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมช่วยลดภาระการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ สามารถจัดการกับของเสียให้เกิดประโยชน์และเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และยังกล่าวว่า โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท วีพี สตาร์ช จังหวัดนครราชสีมา กำลังการผลิต 3,000 ตันต่อวัน ด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบบ่อหมักแบบยูเอเอสบี (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ถึง 80% ทำให้หมดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นลงได้ โดยน้ำเสียจากกระบวนการผลิต 1,550 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 23,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเตาในกระบวนการอบแห้งแป้งได้ 116,000 บาทต่อวัน และสามารถคืนทุนได้ภายใน 2 ปี ในขณะที่โรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) ใช้ระบบก๊าซชีวภาพแบบกวนสมบูรณ์ (Continuous Stirred Tank Reactor, CSTR) ซึ่งรองรับปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 700 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และน้ำเสียจากการผลิตน้ำมันปาล์ม 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 21,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยนำไปผลิตไฟฟ้าใช้ทดแทนพลังงานชีวมวลได้ประมาณวันละ 160,000 บาท [4]

2. การนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าถือเป็นสิ่งสำคัญเพื่อการประหยัดพลังงาน ดังนั้นอุปกรณ์หรือเตาที่ช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงและยังคงประสิทธิภาพการใช้งานในการหุงต้มนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากการพัฒนาเตาประสิทธิภาพของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานแล้ว อำพล และคณะ (2552) ได้พัฒนาระบบเตาก๊าซหุงต้มให้หัวเตาก๊าซมีส่วนอุ่นอากาศก่อนส่งอากาศไปเผาไหม้กับ LPG พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดของหัวเตาในลักษณะนี้จะมีค่าอยู่ที่ 50% ซึ่งมีมากกว่าหัวเตาแก๊สทั่วไปอยู่ประมาณ 4% และระยะเวลาที่ใช้ต้มน้ำมีค่าน้อยกว่าประมาณ 2 นาที [5] อีกทั้ง สมมาส และคณะ (2556) ได้เปรียบเทียบสมรรถนะของเตาชีวมวล (Gasifier) ขนาด 20 กิโลวัตต์ ที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงกับเตาแก๊สหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพต่ำ (KB-5) และประสิทธิภาพสูง (SG5) ที่ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงโดยใช้เตาชีวมวลและเตาแก๊สหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพต่ำ (KB-5) และประสิทธิภาพสูง (SG5) ตามลำดับ ผลการทดสอบ พบว่า เตาชีวมวลมีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำกว่าเตาแก๊สหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพต่ำ (KB-5) และต่ำกว่าเตาหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพสูง (SG5) ประมาณ 29% และ 41% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงต่ำกว่าเตาแก๊สหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพต่ำ (KB-5) และต่ำกว่าเตาแก๊สหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพสูง (SG5) ประมาณ 67% และ 60% ตามลำดับ [6]

4. วิธีการวิจัย (Research Methodology)

1. ข้อมูลชุมชน

ชุมชนดังกล่าวมีสมาชิกอยู่อาศัยทั้งหมด 32 ครัวเรือน และ 1 วัด รวมเตาแก๊สใช้งานทั้งหมด 35 เตา โดยฟาร์มสุกรขนาด 500 ตัว ตั้งอยู่ในระยะห่างจากบ้านหลังสุดท้ายราว 800 เมตร ปริมาณน้ำเสียจากฟาร์มเกิดขึ้นประมาณ 20 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่มีค่าของแข็งทั้งหมดในน้ำเสีย (Total Solid) 2-4%TS ภายหลังเกิดการร่วมมือระหว่างเจ้าของฟาร์ม ชุมชน องค์การบริหารส่วนตำบล และบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) โดยทางฟาร์มรับเป็นผู้สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ถือเป็นการเกื้อหนุนกันและกันระหว่างฟาร์มกับชาวบ้าน ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างบ่อหมักแบบโดมคงที่ (Fixed

Dome) 1 บ่อ ขนาด 100 ลูกบาศก์เมตร และ บ่อหมักแบบพลาสติกคลุมบ่อดิน (Covered Lagoon) ขนาด 60 ลูกบาศก์เมตร 1 บ่อ เมื่อคิดเป็นค่าระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time, HRT) พบว่า มีค่า HRT ประมาณ 8 วัน ซึ่งถือว่าเหมาะสม เนื่องจากมีค่าไม่น้อยกว่าค่า HRT ของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในประเทศไทยที่ 6 วัน [7] มีลักษณะดังรูปที่ 2 พร้อมทั้งเดินระบบท่อส่งก๊าซถึงบ้านทุกหลังด้วยเครื่องส่งก๊าซ (Blower) ขนาด 0.85 กิโลวัตต์ ทำงานร่วมกับมีถังควบคุมแรงดันขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ตั้งค่าแรงดันจ่ายก๊าซไว้ที่ 100 มิลลิบาร์ เพื่อให้ก๊าซไหลในท่อได้สม่ำเสมอ มีถังปิดที่บรรจุฝอยเหล็กสำหรับลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟร์ (H_2S) ในก๊าซชีวภาพ และในยามมีปริมาณก๊าซเต็มบ่อก็มีชุดระบายก๊าซแบบอัตโนมัติ แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3

2. ข้อมูลเตาหุงต้มด้วยก๊าซชีวภาพประสิทธิภาพสูงที่ประดิษฐ์ขึ้นในโครงการนี้

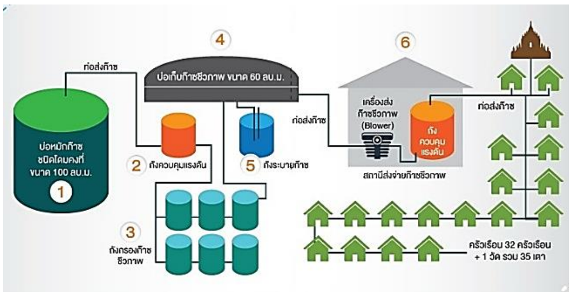
โครงการนี้ได้ประยุกต์ใช้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงหรือเตาซุปเปอร์อั้งโล่ตามแบบของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ร่วมกับหัวเผาของระบบเตาหุงต้มปิคนิค ในการประยุกต์ใช้หัวเผาก๊าซหุงต้มนั้น การเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงซึ่งมีคุณสมบัติและความดันของแหล่งจ่ายที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องมีการปรับปรุงหัวเผาเพื่อรักษาเสถียรภาพการเกิดเปลวไฟ โดยทำการขยายขนาดรูจ่ายก๊าซให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm และทำการติดตั้งตรงกลางแผงรังผึ้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 4 – 5 [2]

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2 (ก) บ่อหมัก Covered Lagoon ขนาด 100 m^3 (ข) โดยรอบฟาร์มสุกรและบ่อหมัก Fix Dome ขนาด 100 m^3 และ (ค) ระบบท่อส่งก๊าซและชุดความคุมแรงดัน

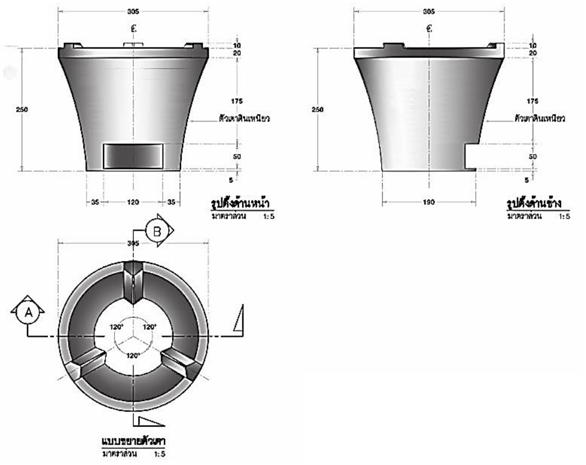


รูปที่ 3 แผนผังระบบผลิตและส่งจ่ายก๊าซชีวภาพระดับชุมชน

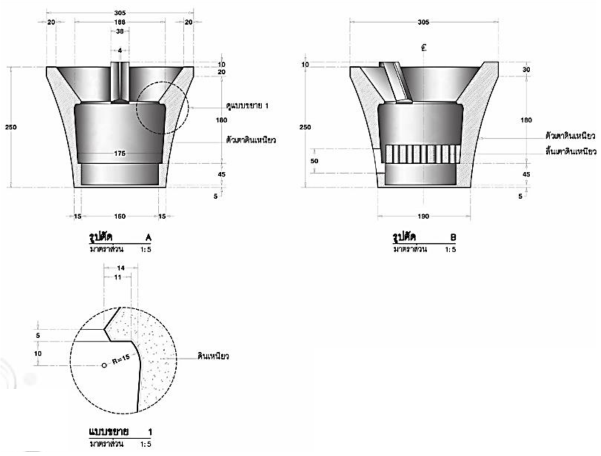
3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา

การทดสอบประสิทธิภาพเตาใช้วิธีการทดสอบด้วยการต้มน้ำ (Water Boiling Test) จากพลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำต่อพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพตามสมการที่ (1) – (4) และทำการวัดเทียบกับเตาแก๊สหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพต่ำ (KB-5) ที่ภาชนะบรรจุน้ำในปริมาตร 1 ลิตรเท่ากัน ด้วยการเปิดวาล์วจ่ายก๊าซในปริมาณ 35% และ 45%ของพื้นที่หน้าตัดท่อจ่ายก๊าซ ที่ได้เปลวไฟแรงมีลักษณะใกล้เคียงกันดังรูปที่ 6 ทำ

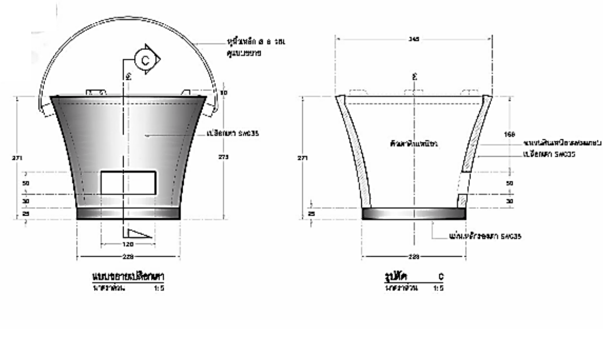
การวัดค่าอุณหภูมิของน้ำในภาชนะขณะต้มด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดรุ่น Testo 830-T4 และวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ด้วยเครื่องวัดปริมาณก๊าซ (Diaphragm Gas Meter) รุ่น Sapphire icg2.5b ซึ่งถูกติดตั้งไว้กับท่อก๊าซก่อนเข้าวาล์วจ่ายก๊าซ ดังแสดงรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ใช้งานของแต่ละครัวเรือน ดังรูปที่ 7 โดยทั้ง 2 ค่า ทำการวัดและบันทึกผลทุกๆ 2 นาที



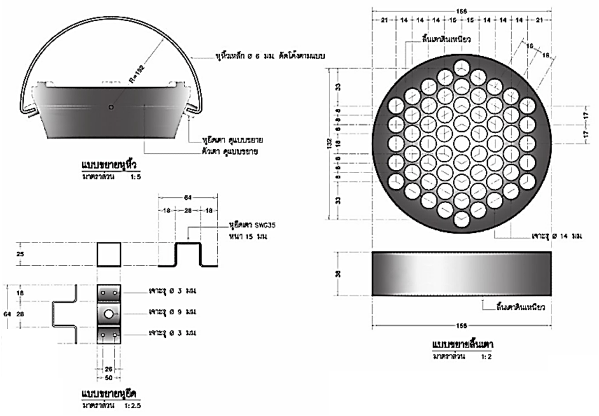
(ก)



(ข)



(ค)

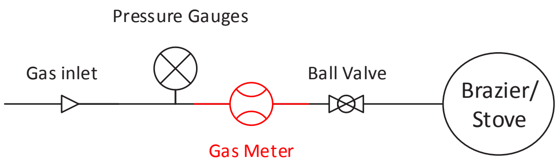


(ง)

รูปที่ 4 (ก) มิติภายนอก (ข) ภาพตัดขวาง (ค) มิติฉนวน และ (ค) ขนาดรังผึ้งของเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง

รูปที่ 5 หัวแก๊สและเตาที่ใช้ในโครงการ

รูปที่ 6 ขนาดเปลวไฟที่เปิดวาล์วจ่ายก๊าซ 35% และรูปขวาคือเตาแก๊สหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพต่ำ (KB-5)



รูปที่ 7 การติดตั้งเครื่องวัดปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในชุดอุปกรณ์ใช้งานของระบบหุงต้มในครัวเรือน

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{fuel}} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ η ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา, %

Q_{Fuel} ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง, kJ

Q_u ปริมาณความร้อนที่ใช้ประโยชน์, kJ

ปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ หาได้จากความร้อนที่ใช้ในการอุ่นน้ำ ดังแสดงในสมการที่ 2

$$Q_u = [m_w\, c_{p,w}\, (T_{w,o} - T_{w,i})] \quad (2)$$

เมื่อ m_w มวลน้ำเริ่มต้น, kg

$C_{p,w}$ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่า 4.186 kJ/kg ^{o}C

$T_{w,o}$ อุณหภูมิน้ำร้อน, °C

$T_{w,i}$ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น, °C

ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหาได้ตามสมการที่ 3-4

$$Q_{fuel} = m_{fuel} \times LHV \quad (3)$$

หรือ

$$Q_{fuel} = (\rho V)_{fuel} \times LHV \quad (4)$$

เมื่อ m_{Fuel} มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด, kg

V_{Fuel} ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด, L

ρ_{Fuel} ความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพ 1.15 kg/m^3 (CH_4 60 %)

LHV ค่าความร้อนต่ำของก๊าซชีวภาพ 21.5 MJ/m^3 (CH_4 60 %)

5. ผลและอภิปรายผล (Results and Discussion)

1. ความสำเร็จของชุมชนต่อการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม

จากการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยบ่อหมักแบบ Fix Dome และ Covered Lagoon ขนาดบ่อหมักรวม 160 m^3 นั้น ทำให้สมาชิกในชุมชนทุกครัวเรือน รวมทั้งวัดได้ใช้ก๊าซชีวภาพในการนำมาประกอบอาหารได้อย่างเต็มที่ โดยมีการทำประชามติการใช้งานระบบก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรระหว่างชุมชนขึ้น ให้สมาชิกในชุมชนทุกท่านถือเป็นสิทธิความเป็นเจ้าของเพื่อให้มีความรับผิดชอบช่วยกันบริหารจัดการให้สามารถใช้ระบบก๊าซชีวภาพนี้ได้อย่างยั่งยืน คือ ให้จ่ายค่าบริการครัวเรือนละ 100 บาท ยกเว้นวัดไม่มีการเก็บค่าบริการ โดยมีตัวแทนสมาชิก 1 ท่าน รับผิดชอบดำเนินการเก็บค่าบริการ เพื่อนำมาใช้จ่ายค่าไฟของระบบจ่ายก๊าซและค่าซ่อมบำรุงอุปกรณ์และปรับปรุงบริเวณใกล้เคียงระบบผลิตก๊าซ กรณีอุปกรณ์ชำรุดเสียหายหลังวาล์วเข้าบ้าน เจ้าของบ้านเป็นผู้รับผิดชอบ และมีการกำหนดระยะเวลาในการเปิดให้ใช้ก๊าซ เพื่อให้สามารถใช้ก๊าซได้อย่างเพียงพอทุกครัวเรือน โดยมี 3 ระยะเวลาการเปิด-ปิดการจ่ายก๊าซ 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงเช้า 05.15 น. – 08.00 น. ช่วงกลางวัน 11.00 น. – 13.00 น. และช่วงเย็น 16.00 น. – 21.00 น. สำหรับช่วงเทศกาลหรือประเพณีจะเปิดให้ใช้งานได้ตลอดทั้งวัน โดยผู้ใช้งานจะสามารถดูได้จากเกจวัดความดันที่ติดตั้งอยู่ก่อนหน้าวาล์วจ่ายก๊าซของทุกครัวเรือน โดยแต่ละครัวเรือนจะอ่านได้แตกต่างกันเล็กน้อยตามระยะที่ไกลออกไปจากสถานีจ่าย ค่าที่อ่านได้จากเกจวัดในแต่ละครัวเรือนมีค่าอยู่ที่ 90 - 100 mbar ซึ่งมีค่าได้ใกล้เคียงกับต้นทาง ผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถทำให้แต่ละครัวเรือนลดค่าใช้จ่ายด้านการซื้อก๊าซ LPG ลงได้กว่า 200 บาทต่อเดือน อีกทั้งยังเป็นการเสริมสร้างความสามัคคีให้แก่ชุมชน

ในด้านน้ำทิ้งหรือกากของเสียภายหลังการบำบัดด้วยบ่อก๊าซชีวภาพถือเป็ผลพลอยได้ที่ส่งเสริมการทำเกษตรอินทรีย์ ชาวบ้านได้มีการจัดการให้มีผู้รับผิดชอบ 1 ท่าน ในการจัดเก็บกากลงถุงกระสอบและขายให้ชาวบ้านผู้ที่ต้องการได้ใช้ปุ๋ยในการเพาะปลูกได้อีกกระสอบละ 20 บาท ซึ่งเป็นราคาที่ใกล้เคียงกับราคาปุ๋ยคอก แต่เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมอย่างยิ่ง ที่จะนำมาใช้กับการทำเกษตรอินทรีย์ เพราะปุ๋ยที่ได้จากระบบก๊าซชีวภาพหรือมูลสัตว์ที่ผ่านขบวนการหมัก

นี้จะให้ธาตุอาหารพืชจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เปลี่ยนมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชมากขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ทำให้โครงสร้างของดินเกาะตัวกันดีขึ้น มีผลทำให้อินทรีย์วัตถุคงสภาพอยู่ในดินได้นาน อีกทั้งปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านขบวนการหมักจะทำให้ไข่แมลง เชื้อโรคบางชนิดที่เป็นสาเหตุของโรคพืชลดลง และยังมีส่วนทำลายการงอกของเมล็ดวัชพืชทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัด [8]

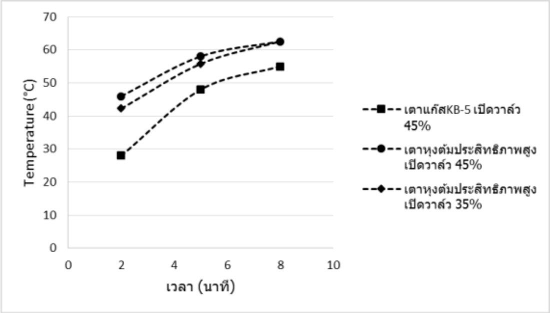
2. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา

ภายหลังการวางระบบท่อส่งก๊าซชีวภาพแล้วเสร็จในช่วงแรกได้ใช้เตาแก๊สเดิมที่มีกันอยู่แล้วในครัวเรือนเป็นเตาหุงต้ม แต่สำหรับบางครัวเรือนที่ใช้เตาอั้งโล่ก่อฝืนในการทำอาหารนั้น ทางคณะวิจัยจึงได้ให้มีการใช้เตาก๊าซชีวภาพที่ได้ประยุกต์ขึ้นดังรูปที่ 5 เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ชาวบ้าน เมื่อได้ทำการทดลองการต้มน้ำหรือการทดสอบแบบ Water Boiling Test เพื่อหาประสิทธิภาพเตานั้นพบว่า จากการต้มน้ำที่เวลาเดียวกัน ภาชนะที่ใช้ต้มน้ำมีลักษณะเดียวกัน ใช้ปริมาณน้ำเท่ากัน และเปิดวาล์วจ่ายก๊าซเท่ากันที่ 35% ลักษณะน้ำที่เดือดภายในภาชนะจะมีลักษณะดังรูปที่ 7 โดยรูป (ก) เป็นการต้มน้ำด้วยเตาแก๊ส KB-5 และรูป (ข) เป็นการต้มน้ำด้วยเตาประสิทธิภาพสูงที่ประดิษฐ์ขึ้นในโครงการนี้ เห็นได้ว่าความแรงการเดือดของน้ำมีลักษณะแตกต่างกัน น้ำที่ถูกต้มด้วยเตาที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้มีอัตราการเดือดที่แรงกว่าเตาแก๊ส KB-5

(ก) (ข)

รูปที่ 7 ลักษณะการเดือดของน้ำที่เวลาเดียวกันและเปิดวาล์วจ่ายก๊าซ 35%

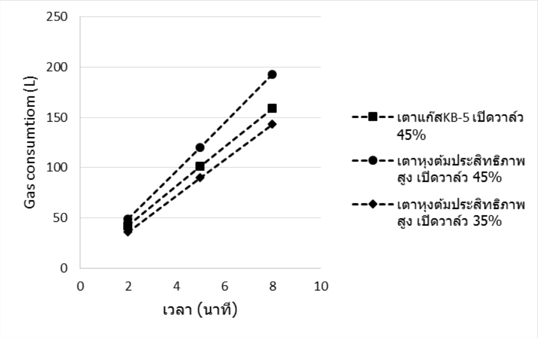
และเมื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิน้ำในภาชนะที่เวลาใดๆ และทำการปรับปริมาณการใช้ก๊าซด้วยการเปิดวาล์ว 45% (ความแรงเปลวไฟสูง) พบว่า เตาหุงต้มที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ สามารถทำให้น้ำในภาชนะมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าเตา KB-5 และใช้เวลาในการต้มน้ำให้เดือดน้อยกว่า โดยในเวลาเดียวกันแตกต่างกันเฉลี่ยถึง 10 °C จึงทำการหรี่วาล์วจ่ายก๊าซลงเหลือเพียง 35% (ความแรงเปลวไฟปานกลาง) เฉพาะการต้มด้วยเตาที่ประดิษฐ์ขึ้น พบว่ายังคงสามารถทำให้อุณหภูมิในภาชนะสูงกว่าการต้มน้ำด้วยเตา KB-5 เนื่องจากว่าเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงนี้มีรูปทรงสูงทึบอีกทั้งตัวเตาเป็นดินที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนได้ดีกว่าเตาแก๊ส KB-5 ที่ทำจากเหล็กมีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่าและรูปทรงเปิดสู่อากาศมากกว่า ซึ่งทำให้การทำอาหารปรุงได้สุกเร็วกว่า ลดระยะเวลาในกระบวนการลง อีกทั้งเมื่อเวลาผ่านไปเพียง 8 นาที การเปิดวาล์วจ่ายก๊าซเพียง 35% ก็สามารถทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงเท่ากันกับการเปิดวาล์วจ่ายก๊าซ 45% โดยที่เวลาก่อนหน้านี้ก็มีอุณหภูมิแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ที่การต้มน้ำด้วยเตาที่ประดิษฐ์ขึ้นเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 8



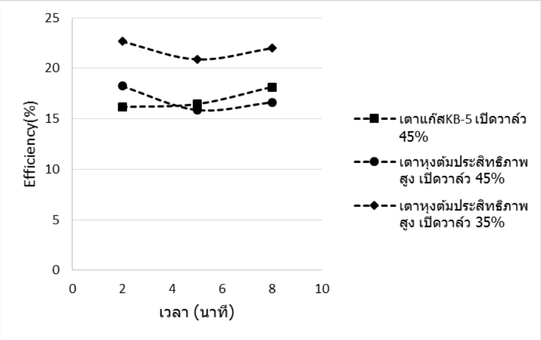
รูปที่ 8 อุณหภูมิน้ำที่วัดได้ ณ เวลาใดๆ

ในการคิดหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเกิดจากการวัดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป เพื่อให้ได้ความร้อนที่เกิดขึ้นที่น้ำต้มในภาชนะ พบว่า ที่ระดับการเปิดวาล์วจ่ายก๊าซที่เท่ากันที่ 45% เตาแก๊ส KB-5 จะมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ประหยัดมากกว่าเตาหุงต้มที่ประดิษฐ์ขึ้นในโครงการนี้ โดยคิดเป็นอัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ที่ 20 และ 24 ลิตรต่อนาที และเมื่อหรี่วาล์วจ่ายก๊าซลงจึงมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลง โดยเตาหุงต้มที่ประดิษฐ์ขึ้นเมื่อเปิดวาล์วก๊าซ 35% จะมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ที่ 18 ลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่ง

ประเด็นนี้อาจยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน ต้องทำการทดลองและวิเคราะห์เพิ่ม โดยเฉพาะในส่วนของห้องเผาไหม้และส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F ratio) และเมื่อนำค่าอุณหภูมิที่วัดได้และปริมาณการสิ้นเปลืองมาคำนวณดังสมการที่ (1) – (4) พบว่า เตาหุงต้มที่ประดิษฐ์ขึ้น ด้วยการเปิดวาล์วจ่ายก๊าซเพียง 35% จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงที่สุดเฉลี่ยที่ 22% รองลงมาคือ เตาหุงต้มที่ประดิษฐ์ขึ้นและเตาแก๊ส KB-5 ด้วยการเปิดวาล์วจ่ายก๊าซที่ 45% มีประสิทธิภาพเท่ากันเฉลี่ยที่ 17%



รูปที่ 9 ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพเมื่อเวลาผ่านไป ณ เวลาใดๆ



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพเตา ณ เวลาใดๆ

6. สรุป

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพถือว่าเหมาะสมกับชุมชนที่มีฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ในการบริหารจัดการชุมชนในด้านการใช้พลังงานทดแทนที่ดีจะสามารถทำให้เกิดการใช้งานได้อย่างยั่งยืน และยังก่อให้เกิดผลพลอยได้ที่อาจเป็นการเสริมรายได้ขึ้นมา อย่างเช่น ชุมชนบ้านสันฮกฟ้า ตำบลสันทราย อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งถือเป็นตัวอย่างของชุมชนพลังงานทดแทนด้านพลังงานก๊าซชีวภาพที่ดีเยี่ยม อีกทั้งในภาคการใช้งาน เตาหุงต้มที่มีประสิทธิภาพสูงจะช่วยในเรื่องการประหยัดเวลาลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ สำหรับเตาหุงต้มที่เกิดจากการประยุกต์ใช้เตาซุปเปอร์อั้งโล่กับหัวแก๊สปิคนิคดังที่กล่าวไปข้างต้นนั้น ในการเปิดวาล์วจ่ายก๊าซเพียง 35% ก็จะสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมในการทำอาหาร และถือเป็นเตาอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่สนใจ

7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้บรรลุประสบความสำเร็จได้ เนื่องจากได้รับแรงสนันสนุนทั้งทุนอุดหนุนและแนวทางการปฏิบัติจากฝ่ายกิจการเพื่อสังคม บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) และเจ้าหน้าที่องค์การบริหารส่วนตำบลสันทราย ตลอดจนได้รับกำลังสำคัญจากสมาชิกชุมชนบ้านสันฮกฟ้า ตำบลสันทราย อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ทุกท่าน

8. เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2558). **เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ** [ออนไลน์] ได้จาก : http://www.erdi.cmu.ac.th/index_main.php/services/view?pid=1

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **โครงการพัฒนาเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง** [ออนไลน์] ได้จาก : http://www2.dede.go.th/acmecs/summary%202549/THAI/Lao5/sum-lao5.html

[3] จิรกุล จันทศิริ และวีรชัย อาจหาญ. (2546). **การออกแบบและทดสอบระบบทำความร้อนสำหรับกกลูกสุกรในโรงเรือนอนุบาลโดยใช้ก๊าซชีวภาพ.** ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] ธัชกร ผลพันธิน วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. (2557). การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียภาคอุตสาหกรรม. **วารสารวิจัยพลังงาน** 11 (1) : 50 – 62.

[5] ธัชกร ผลพันธิน วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. (2552). การเพิ่มประสิทธิภาพหัวเตาแก๊สหุงต้มโดยการนำเอาความร้อนทิ้งกลับมาอุ่นอากาศ. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23**. 4 – 7 พฤศจิกายน, จังหวัดเชียงใหม่.

[6] สมมาส แก้วล้วน, ดำรงศักดิ์ จันโทสี, สุรชัย จันทร์ศรี และเวคิน ปิยรัตน์. (2556). การทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลขนาด 20 kW. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ** 8 (1) : 24 – 33.

[7] นิลวรรณ ไชยทนุ, พฤกษ์ อักกะรังสี และปฏิรูป ผลจันทร์. (2552). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและเศรษฐศาสตร์ของการใช้ระบบหมักไร้อากาศแบบถังกวนต่อเนื่องในสภาวะเทอร์โมฟิลิกเพื่อบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23**. 4 – 7 พฤศจิกายน, จังหวัดเชียงใหม่.

[8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551). **รายงานการศึกษาการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานในเครื่องผลิตปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ด.**

กลุ่มที่ 6 การจัดการพลังงานในชุมชน

การพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเห็ด

Development of Mushroom Grow Bag Compressing

คจรศักดิ์ สิงหันต์[1]* สิริวัฒน์ นิลวัฒน์[2] และนพฤทธิ์ พรหมลัง[3]

K Singhan[1*] S Ninwat and N Promlung

[1]* สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม 214 ม. 12 ตำบลหนองญาติ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม 48000

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม 214 ม. 12 ตำบลหนองญาติ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม 48000

[3] สาขาช่างยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม 214 ม. 12 ตำบลหนองญาติ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม 48000

* Email: kjssh05082514@hotmail.com โทร 0989532009

บทคัดย่อ

บทความวิจัย การพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเห็ด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดแรงงานคนในการอัดก้อนเห็ดในครัวเรือนหรือฟาร์ม ลดระยะเวลาในการอัดก้อนเห็ดให้น้อยลง และเป็นนวัตกรรมทางเลือกให้กับเกษตรกร ในส่วนการดำเนินงานผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง จากนั้นก็ทำการออกแบบและโครงสร้างเครื่องอัดเชื้อเห็ด จากผลการทดลองจำนวน 10 ครั้งๆ ละ 10 ก้อน พบว่าการพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเห็ด ใช้เวลาน้อยสุด 1.40 นาที ก้อนเห็ดใช้ได้ 9 ก้อน เสีย 1 ก้อน และใช้เวลามากที่สุด 3 นาที ก้อนเห็ดใช้ได้ 7 ก้อน เสีย 3 ก้อน ดังนั้นการใช้งานเครื่องอัดเชื้อเห็ดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถช่วยลดเวลาและช่วยลดการสูญเสียจากกระบวนการอัดก้อนเห็ดแทนแรงงานคนได้จริง

Abstract

Paper shredders developing fungi. The objective is to reduce labor in the household or briquette mushroom farm. Reduce the length of the briquette mushrooms less. And innovative alternatives to farmers. In the present study, the relevant data is then designed and structured compressors fungi. The results of 10 times, 10 blocks were developed compressors fungi. At least 1.40 minutes before the fungus is nine blocks of one pack and take the three minutes before the mushrooms are seven blocks of three cubes, so the use of compressed mushroom with an electric motor to reduce time and reduce losses. the briquetting process mushrooms instead of actual labor.

คำหลัก : เครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ด เชื้อเห็ด มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

Keywords : Mushroom grow bag compressing machine, Mushroom grows bags, AC motors

1. บทนำ (Introduction)

เห็ด เป็นสิ่งที่มนุษย์รู้จัก และนำมารับประทานเป็นอาหารมาช้านานแล้ว ตามหลักฐานที่มีการค้นพบ พบว่ามีเห็ดเกิดขึ้นมาบนโลกใบนี้ มาตั้งแต่ 130 ล้านปีก่อนแล้ว นอกจากเห็ด จะเป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ และสัตว์แล้ว เห็ดยังมีบทบาทสำคัญ ในการรักษาสิ่งแวดล้อม โดยช่วยย่อยสลายสิ่งตกค้างจากซากพืช โดยเฉพาะพืชที่มีส่วนประกอบ ของลิกนิน เซลลูโลส และมูลสัตว์ ให้เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นการลดปริมาณของเสีย ที่เกิดจากพืชและสัตว์ โดยธรรมชาติ เนื่องจากเห็ด มีเอนไซม์ (Enzyme) หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายวัสดุและทำให้โครงสร้างของอาหารที่ซับซ้อนให้อยู่ในรูปของสารอาหาร ที่สามารถดูดซึมไปใช้ได้ เช่น เห็ดกระดุม เห็ดสกุลนางรม เห็ดหอม เป็นต้น นอกจากนี้ ก็ยังมีเห็ด ที่ต้องอาศัยอาหาร จากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ หรืออาศัยอาหารจากรากพืชอีกหลายชนิดในธรรมชาติ

เนื่องจากโลกในปัจจุบันมีวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีที่ก้าวหน้า มนุษย์จึงมีความคิดที่หลากหลายรูปแบบการประดิษฐ์คิดค้นอุปกรณ์ที่สามารถอำนวยความสะดวกให้กับตัวเอง อุปกรณ์ทางการเกษตรเป็นอีกเครื่องมือชนิดหนึ่งที่อำนวยความสะดวกให้แก่เกษตรกร การเพาะปลูกจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วยทุ่นแรง เช่น การทำ

นา ทำสวน ทำไร่ การเพาะเห็ดก็เป็นเกษตรแขนงหนึ่งที่ต้องมีเครื่องช่วยทุ่นแรงในการช่วยทำงาน การเพาะเห็ดที่นิยมเพาะในถุงพลาสติกส่วนมาก ได้แก่ เห็ดสกุลนางรม เช่น เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดขอนขาว เห็ดกระด้าง เป็นต้น เห็ดเหล่านี้สามารถเพาะได้บนวัสดุหลายชนิด โดยเฉพาะขี้เลื่อยอัด [1] เนื่องจากการอัดก้อนเห็ดนั้นต้องใช้แรงงานคนในการอัดก้อนเชื้อเห็ด ทำให้ล่าช้า และการอัดก้อนเชื้อเห็ดไม่แน่น ได้ผลผลิตน้อย ไม่เท่าเครื่องอัดก้อนเห็ด [10]

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัย ได้มีแนวคิดที่จะหาวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับกลุ่มเกษตรกร จึงได้สร้างเครื่องอัดเชื้อเห็ดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อช่วยลดแรงงานคน ลดเวลาในการอัดก้อนเห็ด เพื่อพัฒนาส่งเสริมในด้านอาชีพและสามารถนำไปประกอบเป็นอาชีพได้

2. วัตถุประสงค์ (Research Objectives)

1. เพื่อช่วยลดแรงงานคนในการอัดก้อนเห็ดในครัวเรือนหรือฟาร์ม
2. เพื่อลดระยะเวลาในการอัดก้อนเห็ดให้น้อยลง
3. เพื่อเป็นนวัตกรรมทางเลือกให้กับเกษตรกร

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

งานวิจัยการพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเห็ด ได้นำทฤษฎีที่มีความจำเป็นในการออกแบบและสร้าง ประกอบด้วยทฤษฎีต่างๆ ดังนี้

3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ใช้เป็นตัวต้นกำลังหมุนขับโหลดชนิดต่าง ๆ ได้มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในที่อยู่อาศัย สำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ได้ง่าย บำรุงรักษาน้อยและใช้งานสะดวกกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทย ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ และ 380 โวลต์ ตามลำดับ

มอเตอร์แบบหนึ่งเฟส (Single Phase Motor) มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส ส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กมีกำลังพิกัดต่ำกว่า 1 แรงม้า ขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 5 แรงม้า มีการพันขดลวดเป็นแบบหนึ่งเฟสและต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าหนึ่งเฟส สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ จึงไม่ใช้สนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสเหมือนกับในมอเตอร์สองเฟส หรือสามเฟส ซึ่งเป็นเหตุให้สนามแม่เหล็กที่เกิดการกลับไปกลับมาอยู่ที่สเตเตอร์ มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส ไม่สามารถเริ่มเดินด้วยตัวเองได้ จะสามารถเดินได้เมื่อมีตัวช่วยเดิน โดยการเพิ่มขดลวดอีก 1 ชุด คือ ขดลวดช่วยเดิน (Auxiliary Winding) มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสแบ่งตามลักษณะโครงสร้าง และลักษณะการเริ่มเดินได้ 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส (Single Phase Induction) ได้แก่ สปลิตเฟสมอเตอร์ (Split Phase Motor) คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor Motor) และเช็คเดดโพลมอเตอร์ (Shaded Pole Motot) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ามอเตอร์แบบบังขั้ว และกลุ่มที่ 2 เป็นมอเตอร์หนึ่งเฟสที่มีตัวหมุนลักษณะเป็นทุ่นอาร์เมเจอร์ใช้ขดลวดทองแดงพันปลายสายต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ ได้แก่ รีพัลชั่นมอเตอร์ (RepulsionMotor) และ ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal Motor) [3]

3.2 เหล็กฉาก (Angle Bar) คือ เหล็กที่ผลิตตามมาตรฐาน มอก.1227-2539 จากโรงงานภายในประเทศที่ได้มาตรฐาน มีรูปทรงตัว แอล ซึ่งเกิดจากการรีดร้อนของเหล็กคุณภาพสูง โดยวิศวกร ออกแบบให้เหล็กฉาก เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในโครงสร้างงานเหล็ก และจัดอยู่ในประเภทเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ใช้ในการทำโครงสร้าง อาทิ โรงงานอุตสาหกรรม โครงหลังคาโรงงาน เป็นต้น [9]

3.3 เหล็กกล่อง คือ เหล็กแป๊บไม่ว่าจะเป็นแป๊บเหล็กสี่เหลี่ยม (เหล็กแป๊บ) หรือแป๊บเหล็กสี่เหลี่ยมแบน (แป๊บแบน) ลักษณะของมันนั้นถ้าเรามองพื้นที่หน้าตัดก็เหมือนกับกล่องๆหนึ่งที่แค่มันกลวงตรงกลางแล้วลักษณะจะยาวเท่านั้นข้อแตกต่างระหว่าง 2 ตัวนี้คือ ถ้าขนาดกว้างกับสูง (DxD) เท่ากันก็จะเป็นเหล็กแป๊บสี่เหลี่ยมถ้าขนาดกว้างกับสูง (DxB) ไม่เท่ากันก็จะเป็นเหล็กแป๊บแบน คือข้อสังเกตของเหล็กสองตัวนี้

3.4 เหล็กเพลา หรือ เหล็กกลมตัน เป็นเหล็กที่สามารถนำไปใช้ในงานอุตสากรรมประเภทต่างๆ ได้

มากมายสืบเนื่องมาจากคุณลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างจากเหล็กทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นความละเอียดของขนาด ความเรียบของพื้นผิว และคุณสมบัติทางกลภาพบางประการ ซึ่งเอื้อให้เหล็กเพลาขาวมีอรรถประโยชน์ในการใช้งานสูงกว่าเหล็กประเภทอื่นๆ มีหน่วยเรียกในการซื้อขาย 2 ชนิด คือ หน่วยหุน เช่น ขนาด 1/8", 3/8", 1", 1.1/2" และ หน่วยมิล เช่น ขนาด 5 มิล, 8 มิล, 15 มิล, 30 มิล เป็นต้น

3.5 เหล็กท่อกลมดำ (Carbon Steel Tubes) หรือที่นิยมเรียกกันว่า เหล็กท่อดำ, แป๊บดำ, แป๊บกลมผลิตจากเหล็กกล้าแผ่นคุณภาพสูง ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรประสิทธิภาพมาตรฐาน ควบคุมด้วยวิศวกร QC สูงสุด เป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวงแบบกลมตามมาตรฐาน มอก.107-2533 ชั้นคุณภาพ HS41 มีความยาว 6,000 มิลลิเมตร/เส้น ท่อกลมดำ ใช้สำหรับเป็นท่อลำเลียงท่อการประปา ท่อชลประทาน และใช้เป็นโครงสร้างทั่วไป มีลักษณะเป็น เหล็กท่อดำ เหล็กยาวมีความสามารถในการรับแรงดัน มีความแข็งแรงทนทานแต่น้ำหนักเบา ตะเข็บเรียบ สะดวกในการเชื่อมต่อ

3.6 มู่เล่ มีหน้าที่ในการเปลี่ยนทิศทางและควบคุมความตึง หรือ ความหย่อนของสายพานในระบบลำเลียง และบางครั้งก็ทำหน้าที่ปรับสายพาน เพื่อให้สายพานเดินได้ตลอดการเคลื่อนที่ของสายพาน

3.7 ตลับลูกปืนตัววาย เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับการหมุนของเพลา โดยตลับลูกปืนมีหน้าที่ถ่ายทอดแรงที่เกิดขึ้นจากเพลาลงไปสู่ฐานเครื่องยนต์ และลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ทำให้ช่วยเพิ่มสมรรถนะของเครื่องจักรกลต่างๆ ลดการสึกหรอ แต่ตลับลูกปืนมักจะเสื่อมสภาพเร็วเนื่องจากตลับลูกปืนถือว่าเป็นจุดวิกฤตของเครื่องมือกล

3.8 สายพาน คืออุปกรณ์ที่มีไว้เพื่อการถ่ายทอดกำลัง จากแหล่งพลังงานหนึ่งไปสู่อีกแหล่งหนึ่ง เมื่อพูดถึงสายพานคนทั่วไปก็มักจะนึกถึงอุปกรณ์ที่รูปวงรี ทำขึ้นมาจากวัสดุซึ่งมียางและเส้นใยผ้าใบเป็นส่วนผสมหลัก ทั้งที่สายพานในปัจจุบันนี้จำนวนไม่น้อยมีโลหะจำพวกเหล็กกล้า และสแตนเลสเข้ามาเป็นส่วนผสมด้วย ในเครื่องยนต์ที่ไม่ใช้สายพานเป็นตัวถ่ายทอดกำลัง ก็จะใช้เฟืองหรือโซ่เป็นตัวทำหน้าที่แทนสายพาน ซึ่งต่างก็มีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันออกไปตามสภาพทางกายภาพ สายพานในเครื่องยนต์ที่คนส่วนใหญ่รู้จักกันก็คือ “สายพานหน้าเครื่อง” ซึ่งทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังจากเครื่องยนต์ หรือจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ได้มาจากการทำงานของเครื่องยนต์ ไปขับเคลื่อนไดนาโมหรืออุปกรณ์สำหรับนำกำลังไปแปรรูปเป็นพลังงานอย่างอื่น โดยมีพูลเล่ย์เป็นตัวทำหน้าที่รับและถ่ายทอดกำลังที่สำคัญที่สุด

3.9 การเชื่อมโลหะ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับต่อวัสดุ ส่วนใหญ่เป็นโลหะและพลาสติก โดยให้รวมตัวเข้าด้วยกัน ปกติใช้วิธีทำให้ชิ้นงานหลอมละลายและการเพิ่มเนื้อโลหะเติมลงในแอ่งหลอมละลายของวัสดุที่หลอมเหลว เมื่อเย็นตัวรอยต่อจะมีความแข็งแรง บางครั้งใช้แรงดันร่วมกับความร้อน หรืออย่างเดียวเพื่อให้เกิดรอยเชื่อม ซึ่งตรงข้ามกับการบัดกรีอ่อนและการบัดกรีแข็งซึ่งไม่มีการหลอมละลายของชิ้นงาน มีแหล่งพลังงานหลายอย่างสำหรับนำมาใช้ในการเชื่อม เช่น การใช้ความร้อนจากเปลวแก๊ส, การอาร์คโดยใช้กระแสไฟฟ้า, ลำแสงเลเซอร์, การใช้อิเล็คตอรอนบีม, การเสียดสี, การใช้คลื่นเสียง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมมีการนำมาใช้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่นการเชื่อมในพื้นที่โล่ง, พื้นที่อับอากาศ, การเชื่อมใต้น้ำ การเชื่อมมีอันตรายเกิดขึ้นได้ง่าย จึงควรมีความระมัดระวังเพื่อป้องกันอันตราย เช่น ที่เกิดจาก กระแสไฟฟ้า, ความร้อน, สะเก็ดไฟ, ควันเชื่อม, แก๊สพิษ, รังสีอาร์ค, ชิ้นงานร้อน, ฝุ่นละออง ในยุคเริ่มแรกจนถึงศตวรรษที่ 19 มีการใช้งานเฉพาะการเชื่อมทุบ (Forge Welding) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อโลหะ เช่นการทำดาบในสมัยโบราณ วิธีนี้รอยเชื่อมที่ได้มีความแข็งแรงสูง และโครงสร้างของเนื้อรอยเชื่อมมีคุณภาพอยู่ในระดับที่น่าพอใจ แต่มีความล่าช้าในการนำมาใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม หลังจากนั้นได้มีการพัฒนามาสู่การเชื่อมอาร์ค และการเชื่อมโดยใช้เปลวแก๊สออกซิเจน และหลังจากนั้นมีการ เชื่อมแบบความต้านทานตามมา เทคโนโลยีการเชื่อมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในศตวรรษที่ 20 ซึ่งอยู่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 1

และครั้งที่ 2 เทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่ๆ ได้มีการเร่งพัฒนาเพื่อรองรับต่อการสู้รบในช่วงเวลานั้น เพื่อทดแทนการต่อโลหะแบบเดิม เช่น การใช้หมุดย้ำซึ่งมีความล่าช้าอย่างมาก กระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ (SMAW) เป็นกระบวนการหนึ่งที่พัฒนาขึ้นมาในช่วงนั้น และกระทั่งปัจจุบัน ยังคงเป็นกรรมวิธีที่ใช้งานกันมากที่สุดในประเทศไทยและประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลาย [4]

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศิริลักษณ์ พานโคกสูง (2554) การพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติต้นแบบเพื่อชุมชน ในงานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดต้นแบบนำมาใช้กับก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าที่ผลิตขึ้นในจังหวัดสกลนคร ได้ถูกพัฒนาขึ้น มีเป้าหมายเพื่อลดแรงงานและเวลาในการดำเนินการ ลักษณะของเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดกึ่งอัตโนมัติ ออกแบบให้ส่วนอัดก้อนเชื้อเห็ดมีความสัมพันธ์กับจานหมุนด้วยความเร็ว 1 รอบต่อนาทีซึ่งมีกระบอกบรรจุถุงก้อนเชื้อเห็ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.2 เซนติเมตรจำนวน 6 กระบอก ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด ¼ แรงม้า เริ่มกระบวนการผลิตนำถุงก้อนเชื้อเห็ดบรรจุลงในกระบอก ผ่านเข้าสู่กระบวนการอัดแบบอัตโนมัติ จับเวลาในการผลิต เมื่ออัดเสร็จนำก้อนเชื้อเห็ดออกมาทดสอบความหนาแน่น จากนั้นเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตโดยใช้แรงงานคน และเครื่องที่ใช้ในชุมชนสกลนคร จากผลการศึกษาพบว่า เครื่องต้นแบบสามารถทำการอัดได้ความหนาแน่น 0.63 กรัมต่อ ลบ.ซม. และมีอัตราการผลิต 342 ถุงต่อชั่วโมง ในขณะที่เครื่องที่ใช้ในชุมชนสกลนครมีอัตราการผลิตโดยเฉลี่ย 240 ถุง ต่อชั่วโมง และอัตราการอัดแบบใช้แรงงานคนโดยเฉลี่ย ผลิตได้เพียง 208 ก้อน ต่อชั่วโมง ดังนั้นเครื่องต้นแบบสามารถเพิ่มผลิตภาพและอำนวยความสะดวกให้กับเกษตรกรในชุมชน

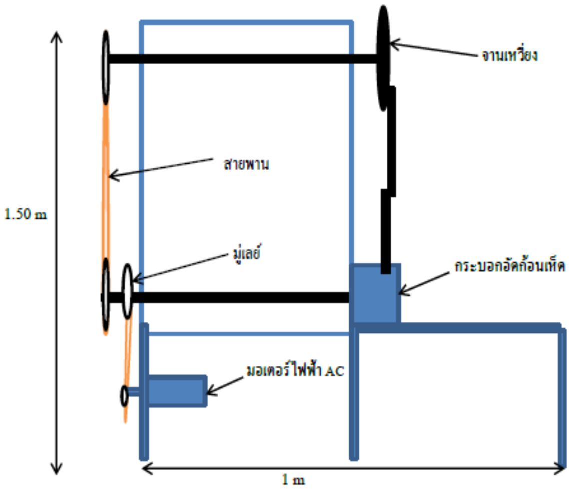
สุริยันต์ แก้วจินดา และดนัยฤทธิ์ โสภะบุญ (2553) เครื่องอัดถุงเห็ดแบบใช้เท้าเหยียบ v.3 เป็นอุปกรณ์ทุ่นแรงที่ช่วยให้เกษตรกรที่ทำฟาร์มเห็ด ได้ประหยัดเวลาในการทำงาน ลดแรงงานคนที่ทำงาน ลดอัตราการสูญเสียของชิ้นงาน ลดค่าใช้จ่ายที่ต้องจ้างแรงงานคนในการบรรจุก้อนเชื้อเห็ด ซึ่งจะทำให้เกษตรกรมีเวลาเพิ่มมากขึ้น สามารถเพิ่มปริมาณงานในด้านอื่นๆ ได้อีกและจุดประสงค์ที่สำคัญมีประสิทธิภาพในการอัดถุงก้อนเห็ด 5 ก้อน ต่อ 1 นาที ทำให้ก้อนเชื้อเห็ดมีขนาดที่ได้มาตรฐาน เต็มไม่ลีบ แบน เมื่อเวลานำไปนึ่งฆ่าเชื้อ อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดทำเป็นอุปกรณ์ง่าย ๆ ที่หาได้ตามท้องตลาดเพียงแค่นำมาดัดแปลงให้เกิดการผ่อนแรงและไดมาตรฐานเท่านั้น ก็สามารถดำเนินการได้แล้ว มีต้นทุนที่ต่ำ ไม่เปลืองเนื้อที่ ดูแลรักษาง่าย ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า จึงปลอดภัยจากอัตราที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงาน

4. วิธีการวิจัย (Research Methodology)

ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนวิธีการวิจัยไว้ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้องในเรื่องของเครื่องอัดเชื้อเห็ด จากแหล่งข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างเครื่องอัดเชื้อเห็ดเอนกประสงค์

2. การออกแบบเครื่องอัดเชื้อเห็ดเอนกประสงค์ มีการออกแบบโครงสร้าง ดังนี้



รูปที่ 1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดเชื้อเห็ด

2.1 ระบบต้นกำลัง ใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,440 รอบต่อนาที

2.2 ชุดส่งกำลังและคำนวณระบบการส่งถ่ายกำลังโดยใช้สายพาน เพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความเร็วรอบพูลเล่ย์โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_1}{D_2} \qquad (1)$$

ให้ ω_1 แทนอัตราเร็วเชิงมุมของพูลเล่ย์ตัวขับ

ω_2 แทนอัตราเร็วเชิงมุมพูลเล่ย์ตัวตาม

D_1 แทนเส้นผ่านศูนย์กลางพูลเล่ย์ตัวขับ

D_2 แทนเส้นผ่านศูนย์กลางพูลเล่ย์ตัวตาม

2.3 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูก

นำวัสดุปลูกที่ผ่านการอัดเป็นก้อนเชื้อเห็ดเรียบร้อยแล้วมาคำนวณหาคุณสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

ความชื้นของวัสดุปลูกโดยนำวัสดุปลูกเข้าเครื่องอบ 24 ชั่วโมง ที่ 103 ^{o}C

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right) x100 \qquad (2)$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักก่อนการอบ

W_2 = น้ำหนักหลังการอบ

ความหนาแน่นของก้อนเชื้อเห็ด โดยการนำก้อนเชื้อเห็ดไปชั่งน้ำหนัก วัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของก้อนเชื้อเห็ด

$$\text{ความหนาแน่นมวล} = \frac{m}{v} \qquad (3)$$

โดยที่ m = มวลรวมของก้อนเชื้อเห็ด (g)

V = ปริมาตรของก้อนเชื้อเห็ด (cm^2)

3. การสร้างเครื่องอัดเชื้อเห็ด

จากขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีและการออกแบบเครื่องอัดเชื้อเห็ด ขั้นตอนต่อไปเป็นการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน และทำการทดสอบการทำงานเบื้องต้นดังรูปที่ 2 - 3

รูปที่ 2 การประกอบชิ้นส่วนเครื่องอัดเชื้อเห็ด

รูปที่ 3 การตกแต่งตั้งศูนย์ของระบบและการทดสอบการทำงานเบื้องต้นเครื่องอัดเชื้อเห็ด

4. ขั้นตอนการทดสอบเครื่องอัดเชื้อเห็ด มีขั้นตอนดังนี้

จากการดำเนินงานวิจัย เมื่อทำการออกแบบและสร้างเครื่องอัดเชื้อเห็ดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็เริ่มทำการทดสอบเครื่องอัดเชื้อเห็ด ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองการใช้งานของเครื่องอัดเชื้อเห็ดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าโดยการนำขี้เลื่อยที่ผสมเสร็จแล้วมากรอกใส่ถุงในปริมาณที่เท่ากันแล้วจับเวลาในการอัดเชื้อเห็ด

5. การบันทึกข้อมูล ผู้วิจัยได้เก็บรวมรวมข้อมูลจากการใช้เครื่องอัดเชื้อเห็ดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า จำนวน 10 ครั้งๆ ละ 10 ก้อน แล้วนำมาตรวจดูสภาพความเสียหายของก้อนเห็ดเทียบกับเวลา

6. สรุปผลการทดลอง เครื่องอัดเชื้อเห็ด จากตารางที่ 1

5. ผลการวิจัย (Results)

ตารางที่ 1 การทดสอบเครื่องอัดเชื้อเห็ด

ครั้งที่	จำนวน (ก้อน)	เสียหาย (ก้อน)	ไม่เสียหาย (ก้อน)	เวลา (นาที)
1	10	2	8	1.45
2	10	0	10	2
3	10	0	10	2.15
4	10	0	10	2

5	10	1	9	1.40
6	10	0	10	2.30
7	10	0	10	2
8	10	0	10	2.50
9	10	3	7	3
10	10	0	10	2.50
รวม	100	6	94	2.10

ผลการวิจัยจากตารางที่ 1 พบว่าการพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเห็ดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ใช้เวลามากที่สุด 3 นาที ก้อนเห็ดใช้ได้ 7 ก้อน ใช้ไม่ได้ 3 ก้อน และใช้เวลาน้อยสุด 1.40 นาที ก้อนเห็ดใช้ได้ 9 ก้อน ใช้ไม่ได้ 1 ก้อน ในจำนวนก้อนเห็ด 100 ก้อน ใช้เวลาเฉลี่ยที่ 2.10 นาที ก้อนเห็ดใช้ได้ 94 ก้อน ใช่ไม่ได้ 6 ก้อน

6. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

จากผลการวิจัยการพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเห็ดสามารถอภิปรายผลตามประเด็นสำคัญในด้านต่างๆ ดังนี้

ก้อนเห็ดที่สามารถผลิตได้จากเครื่องอัดเชื้อเห็ดจากขี้เลื่อยจำนวน 10 ครั้งๆ ละ 10 ก้อนเป็นที่น่าพอใจคือไม่เสียหายเลยจำนวน 7 ครั้ง และมีการใช้เวลาน้อยที่สุด 2 นาที เฉลี่ยก้อนละ 12 วินาที ถือว่าเครื่องอัดเชื้อเห็ดนี้มีความปลอดภัยต่อการใช้งานและช่วยลดระยะเวลาการผลิตได้จริงเป็นที่ยอมรับของเกษตรกร

การพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเห็ดแม้ว่าจะทำงานได้ตามวัตถุประสงค์แต่ก็มีข้อจำกัดเนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ขับมู่เลย์หมุนเร็วเกินไปอาจทำให้ผู้ใช้งานได้รับอุบัติเหตุหรือก้อนเห็ดที่ผลผลิตออกมาไม่เป็นที่พอใจ ควรมีการแก้ไขมู่เลย์ให้มีขนาดเล็กลงหนึ่งชุดเพื่อไปขับมู่เลย์ใหญ่อีกชุดหนึ่งซึ่งจะทำให้จำนวนรอบช้าลง

ข้อเสนอแนะก่อนนำเครื่องอัดเชื้อเห็ดไปใช้งาน ควรตรวจสอบอุปกรณ์ให้ดี ก่อนนำไปใช้งาน และควรระมัดระวังเครื่องจักรกล

ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา ควรพัฒนามู่เลย์ให้เป็นสามระดับตัวทด และควรพัฒนาจากการใช้มอเตอร์ให้เป็นนิวเมติกส์ไฮดรอลิกส์ในการอัดเชื้อเห็ด

7. สรุป (Reference)

การออกแบบและสร้างเครื่องอัดเชื้อเห็ด มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการและนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาเครื่องอัดก้อนเห็ดแบบต่างๆ ช่วยลดแรงงานคนในการอัดก้อนเห็ดในครัวเรือนหรือฟาร์ม ลดระยะเวลาในการอัดก้อนเห็ดให้น้อยลง และเป็นนวัตกรรมทางเลือกให้กับเกษตรกร

จากผลการทดลองเครื่องอัดเชื้อเห็ด จำนวน 10 ครั้งๆ ละ 10 ก้อน ปรากฏว่า เครื่องอัดเชื้อเห็ดใช้เวลาน้อยสุด 1.40 นาที โดยก้อนเห็ดใช้ได้ 9 ก้อน ใช้ไม่ได้ 1 ก้อน และใช้เวลามากสุด 3 นาที ก้อนเห็ดใช้ได้ 7 ก้อน ใช้ไม่ได้ 3 ก้อน

8. เอกสารอ้างอิง (Reference)

[1] ชูชาติ ผาระนัด. (2551). **เครื่องอัดขี้เลื่อยสำหรับเพาะเลี้ยงเห็ดแบบอัตโนมัติ.** วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, ว.มรม. ปีที่ 2 (1), หน้า 23.

[2] ไชยชาญ หินเกิด. (2556). **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.** กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือ ส.ส.ท. (ไทย-ญี่ปุ่น).

[3] ณรงค์ ชอนตะวัน. (2556). **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ,

[4] ณรงค์ มากชม. (2546). **งานเชื่อมและโลหะแผ่นเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์วังอักษร,

[5] ณัฐพล โสกุลเลาะ และนิรัติศักดิ์ คงทน. (2551). **เครื่องผลิตก้อนเชื้อเห็ด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[6] ธวัชชัย ทีฆชุณหเถียร. (2540). **การเพาะเห็ดหอมในจังหวัดนครราชสีมา.** วารสารเทคโนโลยีสุรนารี, 4 (3), หน้า 187.

[7] ธวัชชัย ทีฆชุณหเถียร และ ดวงใจ จาจิตร. (2543). **เทคโนโลยีการผลิตเห็ดหอมพื้นราบ.**

[8] ศิริลักษณ์ พานโคกสูง. และคณะ. (2554). **การพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติต้นแบบเพื่อชุมชน.** สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร.

[9] สุรสิทธิ์ แก้วพระอินทร์. **โลหะวิทยาเบื้องต้น.** (2553). กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น,

[10] สุริยนต์ แก้วจินดา และดนัยฤทธิ์ โสภะบุญ. **เครื่องอัดถุงเห็ดแบบใช้เท้าเหยียบ v.3.** นวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ หุ่นยนต์และโครงงานวิทยาศาสตร์. สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.

[11] อำนาจ ทองแสน และจรูญ พรหมสุทธิ์. (2546). **งานเชื่อมและโลหะแผ่นเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ประสานมิตร,

คงรศักดิ์ สิงหันต์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท จากมหาวิทยาลัยนครพนม ปี พ.ศ. 2557 ปัจจุบัน ตำแหน่ง อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

สิริวัฒน์ นิลวัฒน์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปี พ.ศ. 2549 ปัจจุบัน ตำแหน่ง อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

นพฤทธิ์ พรหมลัง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท จาก มหาวิทยาลัยนครพนม ปี พ.ศ. 2557 ปัจจุบัน ตำแหน่ง อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

การวิเคราะห์สมรรถนะการผลิตพลังงานและการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

An Analysis of Energy Performance and Power Peak Cutting of Photovoltaic system Grid Tie with battery back-up

จิรเมธ บุญรักษาเตชิต เวียนโชคและ นพพร พัชรประกิติ*

Jiramet BoonraksaTeachit WianchokandNopporn Patcharaprakiti*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย

99 หมู่ที่ 10 ตำบลทรายขาวอำเภอพานจังหวัดเชียงราย 57120 โทรศัพท์0 5372 3979

*E-mail pnopporn@rmutl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 083-009-4349

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.28 กิโลวัตต์ ติดตั้งบนหลังคาบ้านพักอาศัย และใช้ อินเวอร์เตอร์ไฮบริด ขนาด 3 กิโลวัตต์ ที่มีฟังก์ชันแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ และอัดประจุแบตเตอรี่ ให้กับแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์45 Ah จำนวน 4 ลูกต่ออนุกรมกันเป็นแรงดัน 48 โวลต์ และพัฒนาชุดตรวจวัดอุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ และวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้า ในรูปแบบต่างๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน แลการลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่ ผลการวิเคราะห์พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดที่มีแบตเตอรี่ได้รับพลังงานมากกว่าเล็กน้อย และสามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

Abstract

This paper propose an analysis of the power flow to the most appropriate system of solar power with battery backup power program flow analysis for solar power with battery backup power and no battery backup power, size 2.2kW and Hybrid inverter 3 kW. The hybrid inverter convert DC energy to AC energy and also charge battery 48 Vdc which connection from 12 V 45 Ah 4 sets. The data collection are record and analyze the energy efficiency, power peak demand cutting which found that the PV with battery backup has more energy production and high power peak cut than non-battery PV grid tie.

คำหลัก:อินเวอร์เตอร์ไฮบริด, ระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสายส่งที่มีแบตเตอรี่, ลดค่าความต้องการสูงสุด

Keywords: Hybrid Inverter, Photovoltaic System, battery backup, Power Peak Cut

1.บทนำ

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบผลิตพลังงานที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีศักยภาพสูงสำหรับประเทศไทย ปัจจุบันรูปแบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ มี 2 รูปแบบที่นิยมใช้ โดยรูปแบบแรก คือ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย เรียกว่า Off-Grid หรือ Stand Alone ระบบนี้เกิดขึ้นมากในยุคแรก เป็นระบบที่ติดตั้งในบริเวณที่ไม่มีสายส่งของการไฟฟ้า ระบบนี้มีส่วนประกอบสำคัญ คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่และอุปกรณ์อัด

ประจุ และอินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ รูปแบบที่สอง คือ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย เรียกว่า On-Grid หรือ Grid Tie ระบบนี้จะมีเฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอินเวอร์เตอร์ ซึ่งระบบนี้จะไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน แต่จะผลิตไฟฟ้าแล้วจ่ายเข้าระบบไปทั้งหมด ซึ่งระบบนี้เกิดขึ้นมากในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา คิดเป็นสัดส่วนมากกว่า90% เมื่อเทียบกับระบบ Off Grid ที่ไม่ถึง 10% เนื่องจากมีนโยบายรับซื้อไฟฟ้าด้วยมาตรการจูงใจในรูปแบบราคาส่วนเกินจากค่าไฟฟ้าฐาน Adder และราคารับซื้อที่เหมาะสม FIT (Feed in Tariff) ซึ่งมีการติดตั้งทั้งแบบโซล่าฟาร์มและโซลาร์รูฟที่ติดตั้งตั้งบนหลังคาและเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 58 รัฐสภามีการประชุมสภาปฏิรูปแห่งชาติเพื่อพิจารณารายงานการศึกษาเรื่องโครงการส่งเสริมการติดตั้งโซลาร์รูฟอย่างเสรี(ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์สำหรับบ้านและอาคาร)ตามคณะกรรมาธิการปฏิรูปพลังงานสภาปฏิรูปแห่งชาติได้พิจารณาระบบโซลาร์รูฟเป็นการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งอยู่บนหลังคาของบ้านและอาคารผู้ติดตั้งสามารถใช้ไฟฟ้าที่ตัวเองผลิตได้และช่วยลดปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้าทำให้ช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าส่วนไฟฟ้าที่เหลือจากใช้งานยังต้องรอการพิจารณาว่าจะสามารถส่งขายให้การไฟฟ้าได้ หรือกักเก็บพลังงานไว้ในเวลากลางคืนได้ จากนโยบายดังกล่าวจึงได้เกิดแนวคิดนำระบบผสมผสานระหว่าง Off-grid และ On-grid มาใช้ร่วมกัน โดยระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน[1-4]ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าเสริมความมั่นคงทางด้านพลังงานเนื่องจากสามารถนำพลังงานที่เหลือใช้ในกลางวันมากักเก็บไว้ใช้ในเวลากลางคืนและลดการเกิดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด peak [5-6] ซึ่งทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลงได้เพื่อเป็นการวิเคราะห์ถึงสมรรถนะทางเทคนิคของระบบ ในงานวิจัยนี้ จึงได้ออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Grid Tie PV) และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน [7-8] (Grid Tie PV with Battery Backup)ขนาด 2.28กิโลวัตต์ ติดตั้งสำหรับบ้านพักอาศัย ที่อยู่ใน ต.ป่าไผ่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ การลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และพฤติกรรมการไหลกำลังไฟฟ้าและคุณภาพกำลังไฟฟ้าของทั้งสองระบบ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

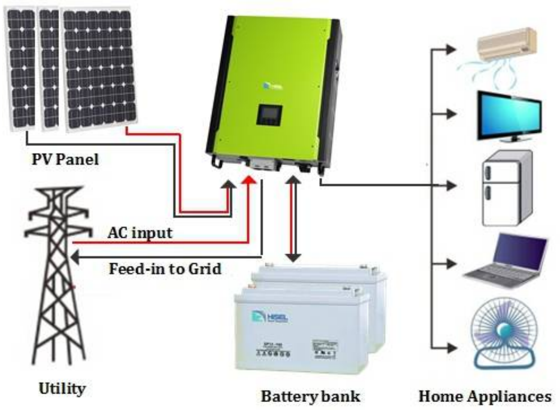
2.วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายชนิดมีแบตเตอรี่
2. เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานและการลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายชนิดมีแบตเตอรี่เทียบกับระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่

3. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน (Grid Tie PV with Battery Backup)

เป็นระบบที่ผสมผสานระหว่างระบบ Off Grid และระบบ On Grid เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีข้อดีที่สามารถบริหารจัดการพลังงานได้ โดยออกแบบขนาดระบบให้มีความเหมาะสมกับศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ปริมาณโหลดในเวลากลางวัน ปริมาณโหลดในเวลากลางคืนตามเงื่อนไขและนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าของการไฟฟ้าหรือหน่วยงานภาครัฐ

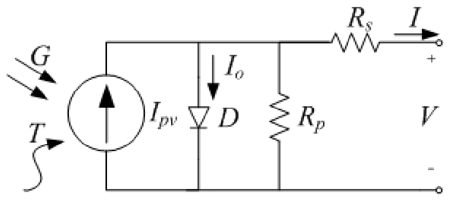


รูปที่ 1ไดอะแกรมระบบ Grid Tie PV with Battery Backup

3.2เซลล์แสงอาทิตย์ (Photo current)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Photo current)กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Photo current) เกิดจากแสงสว่างไปทำให้

เซลล์แสงอาทิตย์สร้างประจุพาหะอิสระให้ไหลผ่านโหลดที่ต่ออยู่เป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มแสงที่ตกกระทบรอยต่อ PN Junction ซึ่งจะเขียนแทนด้วยไดโอดและแหล่งจ่ายกระแสในสมการแสดงถึงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชั่นเอ็กโพเนนเชียล (exponential equation)



รูปที่ 2 วงจรสมมูลและสมการของเซลล์แสงอาทิตย์

สมการ

$$I = I_{ph} - I_s\left(ezp\frac{q(V+IR_S)}{N.K.T.} - 1\right) - \frac{q(V+IR_S)}{R_{sh}} \quad (1)$$

เมื่อIph คือกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแสง ; A

Is คือกระแสไบอัสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด ; A

Q คือประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} C

N คือ Ideal factor

K คือค่าคงที่ของ Boltzmanมีค่าเท่ากับ 1.3806504×10^{-23} J/Kevin

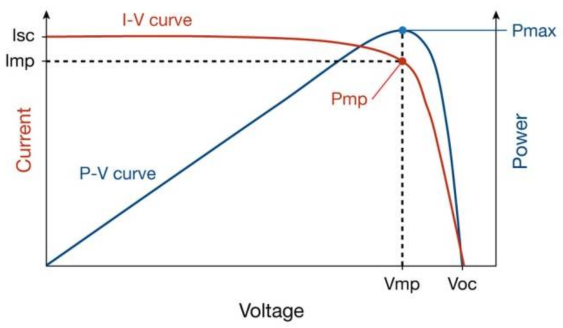
T คืออุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์ ;Kevin

V คือแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด ; V

RS คือค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์ ; Ω

Rsh คือค่าความต้านทานขนานของเซลล์ ; Ω

สำหรับในเชิงพาณิชย์ ค่าที่สำคัญ จะได้จากการทดสอบโดยป้อนพลังงานในแสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน คือ ความเข้มแสง 1000 W/m^{2}อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มวลอากาศ (Air Mass) 1.5 แล้ววัดค่าทางไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร (Voc) ถึงสภาวะลัดวงจร (Isc) ทำให้ได้กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กระแส ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3กราฟคุณลักษณะแรงดันและกระแส

จากกราฟ

ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่

Voc คือ ค่าแรงดันเปิดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

Isc คือ ค่ากระแสลัดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A)

Vm ค่าแรงดันสูงสุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

Im คือ ค่ากระแสสูงสุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A)

Pm คือ ค่ากำลังสูงสุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W) หาได้จาก

สมการ

$$\mathbf{Pm = Vm*Im} \quad (2)$$

FF คือ ค่า Fill Factor ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จาก

สมการ

$$\mathbf{FF = ImVm/IscVoc} \quad (3)$$

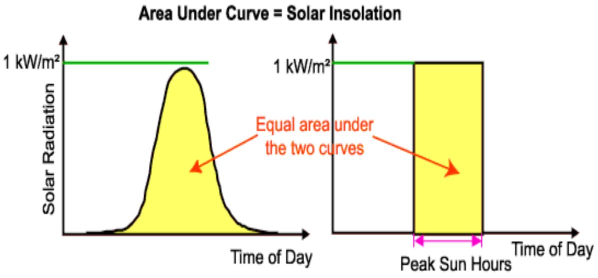
ηระสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จากสมการ

$$\eta = P_{pv}/(G*A) \quad (4)$$

3.2.1ความเข้มแสง

ความเข้มแสงเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งที่ปล่อยออกจากดวงอาทิตย์ แสงในช่วงอินฟราเรดแสงที่ตามองเห็นและอัลตราไวโอเล็ตบนโลกแสงอาทิตย์ถูกกรองผ่านชั้นบรรยากาศของโลกสามารถเห็นชัดเป็นแสงกลางวันเมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าแสงอาทิตย์มีสีขาวเกิดจากแสงทั้ง7สีมารวมกันโดยแสงอาทิตย์จะมีความยาวคลื่นประมาณ400-700nm แสงที่ความยาวคลื่นต่ำสุดคือสีม่วงสีน้ำเงินจนมาถึงสีแดงที่มีความยาวคลื่นประมาณ700 nm ปริมารความเข้มของแสงอาทิตย์ผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีหน่วยวัดค่ากำลัง และพลังงานเป็น W/m2 และ Wh/m2

และเพื่อให้ง่ายสำหรับการคำนวณ ได้มีการกำหนดค่าชั่วโมงที่มีแสงแดด หรือ Peak Sun Hour



รูปที่ 4 ค่าชั่วโมงที่มีแสงแดด (PSH)

PSH [h] = Solar Radiation [G:kWh/m^2] / 1000 W/m^2(5)

3.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ (temperature) ส่งผลต่อแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันจะลดลง กระแสจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และกำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแต่ละอุปกรณ์

โดย ค่า β คือ Power Coefficient γคือ Voltage Coefficient และ α คือ Current Coefficient

Vmin-Cell = Vmp_stc x [1 + (β x ($T_{cellhigh} - T_{stc}$)] (6)

Voc_max = Voc_stc x [1 x (γ x ($T_{celllow} - T_{stc}$)](7)

3.2.3 ทิศและมุม

ทิศ (south) หมายถึงทิศทางทางภูมิศาสตร์ไปยังตำแหน่งต่างๆ เช่น ทิศเหนือ(North) ทิศตะวันออก(East) ทิศใต้ (South) และทิศตะวันตก (West) ทิศแต่ละทิศของแต่ละฤดูการจะได้รับแสงจากดวงดวงอาทิตย์ในระยะเวลาและความเข็มของแสงดวงอาทิตย์ไม่เท่ากันจึงมีผลกระทบระบบการออกแบบและติดตั้งฉะนั้นการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเลือกทิศโดยทั่วไปจะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทางทิศใต้เนื่องจากการโคจรของดวงอาทิตย์จากตะวันออกไปทางทิศใต้ไปยังทิศตะวันตกจึงทำให้ทิศใต้มีระยะเวลาได้รับแสงมากว่าทิศอื่นๆ

มุม (angle) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละพื้นที่จะทำมุมไม่เท่ากัน แต่จะมีค่าใกล้เคียงกับละติจูดของตำแหน่งนั้น หรือประมาณ 15 องศาก็จะทำให้ได้พลังงานต่อวันสูงสุด อย่างไรก็ตามหากไม่สามารถติดตั้งได้ก็ต้องติดตั้งตามโครงสร้างของหลังคาซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงไปตามสัดส่วน

รูปที่ 5 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อได้พลังงานสูงสุด

G(d,a) α G_{global} * (d) + G_{global} * (a) (8)

G(d,a) คือ ความเข้มแสง ณ มุมและทิศที่ติดตั้ง

G_{global} คือ ความเข้มแสงที่พื้นราบ

d คือ ทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

a คือ มุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.2.4 การสูญเสียในระบบ(Loss in the System)

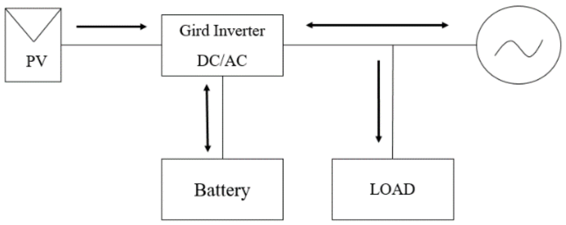
ค่าการสูญเสียที่เกิดจากความไม่แน่นอนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และความไม่สมดุลของแผง (Mismatch loss), ค่าการสูญเสียในสายตัวนำ (Ohmic Loss),ค่าฝุ่นละออง (Dirty Loss) และค่าการสูญเสียอื่นๆดังตารางที่ 1

ตารางที่1การสูญเสียในระบบ(Loss in the System)

พลังงานที่ได้		การสูญเสีย	
พลังงานแสง	100%	จากทิศและมุม	9%
พลังงานที่ได้จากแผง	82%	อุณหภูมิ	5%
พลังงานได้จากชุดแผง	80%	ฝุ่นสิ่งสกปรก	6%
ได้จากอินเวอร์เตอร์	77%	1.แผงไม่เหมาะสมกัน 2.ความต้านทานสาย	3% 3%
พลังงานขั้วหม้อแปลงปฐมภูมิ	67%	กำลังสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์	7%
พลังงานได้ที่มิเตอร์	65%	กำลังสูญเสียหม้อแปลง	2%

3.3 อินเวอร์เตอร์แบบผสมผสาน (Hybrid Inverter)

อินเวอร์เตอร์แบบผสมผสานหรือไฮบริด อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่หน้าที่แปลงไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ และทำหน้าที่วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ โดยสามารถรับไฟจากพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังแบตเตอรี่ ไปยังโหลดและการไฟฟ้า หรือสามารถรับไฟจากแบตเตอรี่ไปยังโหลดและการไฟฟ้า ในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ และยังสามารถรับไฟจากไฟฟ้ามาอัดประจุแบตเตอรี่ ในเวลาที่ไม่มีแหล่งจ่ายแบตเตอรี่และพลังงานแสงอาทิตย์ได้อีก แต่ต้องการสำรองพลังงานและจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด ซึ่งจะเห็นว่าการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า สามารถบริหารจัดการตามเงื่อนไขเวลา สภาวะแสงอาทิตย์และสภาวะโหลดและการไฟฟ้าได้ โดยใช้พิกัดขนาด 3 กิโลวัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 อินเวอร์เตอร์ไฮบริด ยี่ห้อ Infini

Ppv + Pbatt = Pload + Pgrid (9)

Epv + Ebatt = Eload + Egrid (10)

P_{pv} [W] คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

P_{batt} [W] คือ กำลังไฟฟ้ากักเก็บหรือจ่ายออกจากแบตเตอรี่

P_{load} [W] คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลดรับจากแหล่งจ่าย

P_{grid}[W]คือ กำลังไฟฟ้าที่การไฟฟ้ารับหรือจ่ายออก

E_{pv} [Wh] คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

E_{batt} [Wh] คือ พลังงานไฟฟ้าเก็บหรือจ่ายออกจากแบตเตอรี่

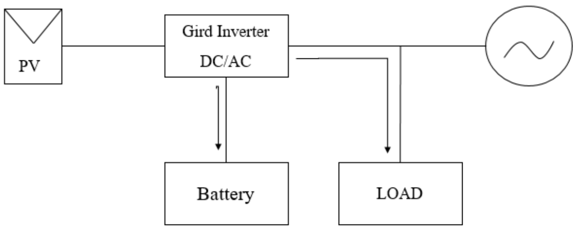
E_{load} [Wh] คือ พลังงานไฟฟ้าที่โหลดรับจากแหล่งจ่าย

E_{grid} [Wh] คือ พลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้ารับหรือจ่ายออก

สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านจะมีทิศทางเดียว แต่แบตเตอรี่และกริดระบบไฟฟ้า จะมีการไหลได้สองทิศทาง ซึ่งแทนทิศทางการเข้าออกด้วยเครื่องหมาย + และ –ตัวอย่างเช่น การทำงานในแต่ละโหมดดังนี้

โหมดที่ 1 การไหลกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาเดียวกันจากเซลล์แสงอาทิตย์ไหลเข้าแบตเตอรี่(ชาร์จแบตเตอรี่)และไหลออกทางด้านโหลด AC Output ด้วย

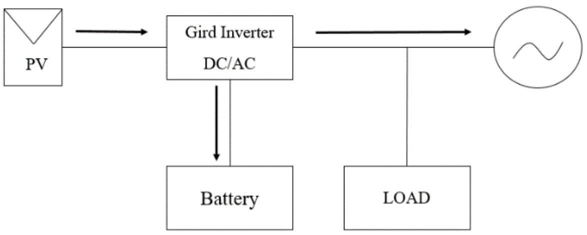
สมการ $P_{pv} = P_{battery} + P_{load}$



รูปที่ 7 โหมดที่ 1 P_{PV}มีกำลังผลิตสูงและจ่ายเข้าโหลดและแบตเตอรี่

โหมดที่ 2 การไหลกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาเดียวกันจากเซลล์แสงอาทิตย์ไหลเข้าแบตเตอรี่(ชาร์จแบตเตอรี่)และไหลออกทางด้าน Grid connectedด้วย

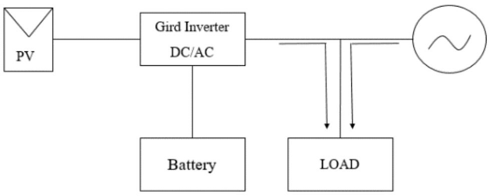
สมการ$P_{pv} = P_{batt} + P_{grid}$



รูปที่ 8 P_{PV}มีกำลังผลิตสูงและไม่มีความต้องการโหลดและแบตเตอรี่กำลังจะไหลเข้าสู่การไฟฟ้า

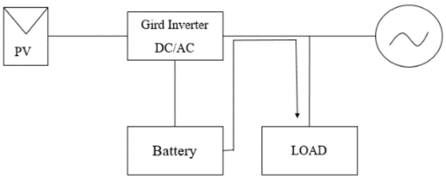
โหมดที่3 การไหลกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และGrid connectedไปจ่ายโหลดด้วย

สมการ$P_{load} = P_{pv} + P_{grid}$



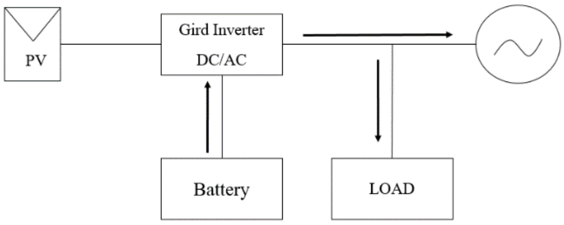
รูปที่ 9 โหมดที่ 3 โหลดรับไฟจากทั้งโซล่าเซลล์และการไฟฟ้า

โหมดที่4 การไหลกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไหลและเข้า P gridไหลเข้า P load **สมการ $P_{load} = P_{batt}$**



รูป10 โหมดที่ 4 ช่วงเวลาที่โหลดรับไฟจากแบตเตอรี่

โหมดที่ 5 การไหลกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลไปยัง AC Grid เป็นโหมดที่การนำประจุที่สำรองไว้ในแบตเตอรี่ออกไปใช้งานสมการ $P_{batt} = P_{grid} + P_{load}$



รูป11 โหมดที่ 5

3.4 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นอุปกรณ์จัดเก็บไฟฟ้าที่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่ผันกลับได้ในการจัดเก็บพลังงานที่เก่าแก่ที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่ด้วยกันประดิษฐ์ขึ้นมาเป็นแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟเข้าไปใหม่ได้ชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อการค้าและในปัจจุบันยังมีการใช้งานกันอยู่อย่างแพร่หลายโดยมีส่วนแบ่งในตลาดของสหรัฐอเมริกาถึง 79% (ปี 2008) และในประเทศจีนแบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกนำมาใช้กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบ photovoltaic กว่า 75% หลักการทำงานของแบตเตอรี่ที่ขั้วคาโทดตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่วซึ่งมีประจุบวกสูงและเป็นไอออนที่มีประจุลบสูงไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอกเพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวกซึ่งเป็นชนิดเดียวกับขั้วลบทำให้เกิดกระแสไหลจากขั้วบวกผ่านไปยังวงจรภายนอกไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถัน(กรดซัลฟุริก) ซึ่งเป็นอิเล็กโทรไลท์กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต(Lead sulphate) (ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะอยู่ที่อิเล็กโทรดทั้งสอง) และก๊าซไฮโดรเจน (รวมกับไอออนของออกซิเจนจากขั้วบวกกลายเป็นน้ำ) เราสามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

ขั้วบวก : $\boldsymbol{PbO_2(s)}$+$\boldsymbol{SO_4^{2-}(aq) + 4H^+ + 2e^- \leftrightarrow}$
$\boldsymbol{PbSO_4(s) + 2H_2O(l)}$

ขั้วลบ: $\boldsymbol{Pb(s)}$+$\boldsymbol{SO_4^{2-}(aq) \leftrightarrow PbSO_4(s) + 2e^-}$

(11)

แบตเตอรี่ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูง (ระหว่าง 85-90%) อีกทั้งมีอัตราการคายประจุด้วยตัวเองหรือ self-discharge rate ต่ำ (ประมาณ 2% ของความจุต่อเดือน) แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อจำกัดหลายอย่างในการจะนำไปใช้กักเก็บพลังงานในระบบที่ใหญ่มากขึ้นเพราะมีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น (ประมาณ 5-15 ปี) ความหนาแน่นของพลังงาน (energy density) ต่อน้ำหนักแบตเตอรี่ต่ำ (30-50 Wh/kg) ประเภทแบตเตอรี่ตะกั่วกรดสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆคือแบตเตอรี่แบบเปียก ซึ่งราคาถูก อายุการใช้งานยาวนานกว่า หากได้รับการดูแลที่ดีและแบตเตอรี่แบบแห้งราคาจะสูงกว่า ดูแลง่ายกว่า มีความปลอดภัยกว่า

3.5การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

ในการออกแบบระบบใช้หลักการของระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อกับจำหน่าย โดยเลือกชนิดและพิกัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline ขนาด 285 วัตต์ ยี่ห้อ SUNTECH ซึ่งมีพารามิเตอร์แสดงดังรูปและตารางที่2

รูปที่ 12 แผงSunTech ชนิด PolyCrystalline และName Plate

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น STP285

ลำดับ	พารามิเตอร์	พิกัด	หน่วย
1	Pmax	285	W
2	Im	8.06	A
3	Vm	35.4	V
4	Isc	8.37	A
5	Voc	44.9	V
6	β	0.44	W/°C
7	α	0.02	A/°C
8	γ	0.33	V/°C
9	η	14.25	%
10	FF	75.9	%

$$V_{min\text{-}Cell} = V_{mp_stc} \times [1 + (\beta \times (T_{cellhigh} - T_{stc})] \quad (12)$$

$$= 35.4 \times [1+(-0.44/100 \times (60-25)] = 29.95 \text{ V}$$

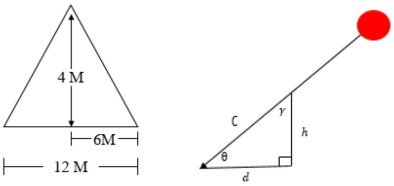
$$V_{oc_max} = V_{oc_stc} \times [1 \times (\gamma \times (T_{celllow} - T_{stc})] \quad (13)$$

$$= 44.9 \times [1+(-0.33/100 \times (-10-25))] = 50.09 \text{ V}$$

เมื่อนำมาต่ออนุกรมกัน จำนวน 8 แผง แรงดันต่ำสุดที่ 29.95 โวลต์ต่อแผง จะมีค่า 239.6 โวลต์ และแรงดันสูงสุดที่ 50.09 โวลต์ จะมีค่า 400.72 โวลต์ซึ่งช่วงแรงดันนี้จะนำไปใช้ในการพิจารณาช่วงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ต่อไปและสำหรับเนื่องจากต่อเป็นแบบแถวเดียว กระแสจะมีค่าใกล้เคียงเดิม ที่ ประมาณ 8.06 แอมป์

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เรื่องทิศและมุม โดยทิศตามทฤษฎีควรหันแผงไปทางทิศใต้ แต่เนื่องจากโครงสร้างหลังคาไม่ได้หันทางทิศใต้ จึงเลือกทิศที่ใกล้เคียง คือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยติดตั้งแผงทิศตะวันออกเฉียงใต้ จำนวน 6 แผง เนื่องจากมีพื้นที่เยอะกว่า และทิศตะวันตกเฉียงใต้ จำนวน 2 แผง และจากละติจูดของพื้นที่ (อ. สันทราย จ.เชียงใหม่) เท่ากับ 18.92 ดังรูปที่ 14

รูปที่ 13 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา สำหรับค่าการลดทอนเรื่องทิศและมุม



รูปที่14มุมเอียงหลังคาบ้าน และละติจูดของพื้นที่

จากรูปที่ 14 เป็นมุมองศาของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

จากสมการ $\tan^{-1}(\frac{y}{x}) = \tan^{-1}(4 \div 6) = 33$ องศา

ซึ่งค่ามุมหลังคาบ้านยกสูง33 องศา จะมีค่าสูงกว่าค่าตามทฤษฎี 18 องศาไป จึงทำให้ลดทอนประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไป

จากขั้นตอนการออกแบบและติดตั้งแผง จึงเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์ไฮบริดยี่ห้อ Infini ระบบ Hybrid ขนาด 3 kW 20 Aซึ่งจะรองรับกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.28 กิโลวัตต์ และแรงดันขาเข้าที่180VDC- 500VDC แรงดันขาออกที่ 230VAC แรงดันขาออกมี 2 ระบบคือ ระบบขาออก 230VA ที่มาจากพลังงานแสงอาทิตย์(โหลดขาออก)และระบบขาออกที่เป็น Grid connected ทั้ง 2 ระบบสามารถควบคุมการปิด-เปิดระบบใดระบบหนึ่งหรือทั้ง2 ระบบก็ได้โดยควบคุมได้ทั้งระบบซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ดังแสดงในรูปที่

รูปที่15อินเวอร์เตอร์ไฮบริด ยี่ห้อInfini

แบตเตอรี่(Battery) เป็นอุปกรณ์สำรองพลังงาน ตัวเก็บประจุเพื่อสำรองพลังงาน ชนิด Deed Cycle ขนาด 12 V 45A จำนวน 4 ลูกต่ออนุกรมกัน แรงดันเท่ากับ 48 V เหตุผลการต่ออนุกรมเนื่องจากอินเวอร์เตอร์ Infiniจะควบคุมการชาร์จของแบตเตอรี่ ที่แรงดัน 48 โวลต์

รูปที่ 16 แบตเตอรี่ยี่ห้อ Globatt12 โวลต์45 Ah

4. วิธีดำเนินงาน

4.1 การประเมินค่าพลังงานในระบบ

$$E_{pv} = P_{pv} * PSH * \eta_{sys} \quad (14)$$

$$\eta_{sys} = \eta_{Mismatch} \times \eta_{ohmic} \times \eta_{dirty} \times \eta_{B} \times \eta_{o} \quad (15)$$

เมื่อ Ppv = Solar Radiation

η_{sys}คือ ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

PSH คือ ค่าชั่วโมงที่แสงอาทิตย์สูงสุดต่อวัน

$\eta_{M}(T)$คือประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

η_{B}คือ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

η_{o}คือ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ประกอบระบบ

ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีแบตเตอรี่

$\eta_{M}(T) = 80\%$

$\eta_{Mismatch} = 95\%$

$\eta_{ohmic} = 95\%$

$\eta_{dirty} = 95\%$

$\eta_{IAM} = 95\%$

$\eta_{Inverter} = 95\%$

$\eta_{Battery} = 85\%$

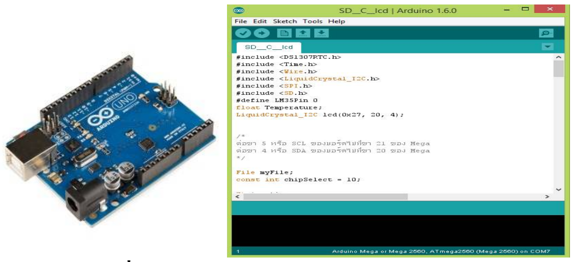
จากฐานข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า ต.ป่าไผ่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ค่าเฉลี่ย พลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน เท่ากับ 17.21 MJ/m^2 หรือ 4.78 kWh/m2 หรือ

PSH = 4.78 h

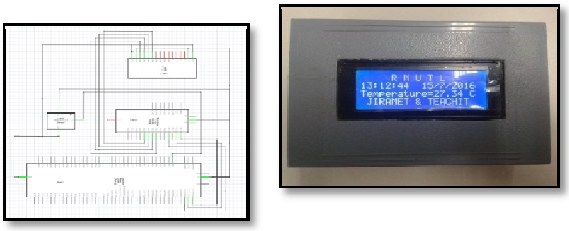
E_{pv}= 2.28 kW x 4.78 h x 0.8 x 0.95 x 0.95 x 0.95 x 0.95 x 0.95 x 0.85 = 5.73 kWh/วัน คิดเป็น 2093 kWh/ปี

4.2 การบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์

เครื่องวัดอุณหภูมิที่ออกแบบโดยใช้บอร์ด Arduino Maga2560 และใช้ LM 35 วัดค่าอุณหภูมิ และเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างสามารถลิงค์เข้ากับระบบคอมพิวเตอร์ได้สามารถบันทึกค่าอุณหภูมิและวันเวลาในตัวได้(SDการ์ด)และใช้เครื่องวัดความเข้มแสง รุ่น TES ที่สามารถบันทึกผลเข้าคอมพิวเตอร์ได้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 17-19



รูปที่17ภาพการเขียนโปรแกรม Arduino



รูปที่18 เครื่องวัดอุณหภูมิ

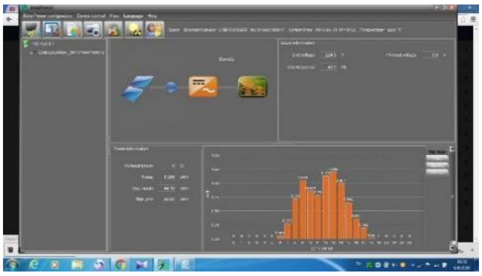
รูปที่ 19 วงจรเครื่องวัดความเข้มแสง

5. ผลการวิจัย

การเก็บบันทึกข้อมูลไฟฟ้าของระบบทั้งระบบที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานและไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

ทุกระยะเวลา 5 นาที จำนวนระบบละ 4 วันและนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Solar powerของอินเวอร์เตอร์แบบไฮบริด

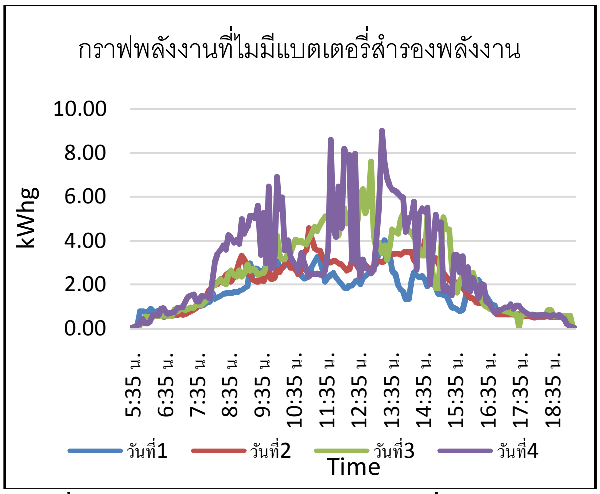
5.1 การเก็บบันทึกข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน



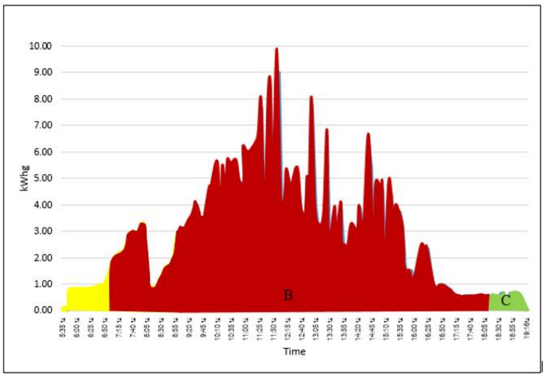
รูปที่ 20 ข้อมูลจากโปรแกรม Solar Power ระบบไม่มีแบตเตอรี่

ตารางที่3ข้อมูลจากการทดลองที่ไม่มีแบตเตอรี่

วัน	T	G	Vpv	Ipv	Vac	Iac	kWh
1	29.5	206.96	233.47	2.17	231.69	2.17	5.84
2	28.8	239.4	231.91	2.32	233.41	2.24	6.38
3	33.2	347.2	229.55	2.55	233.31	2.67	7.26
4	30.74	348.14	206.4	2.58	231.98	2.25	8.30



รูปที่21 กราฟพลังงานระบบไม่มีแบตเตอรี่ของแต่ละวัน

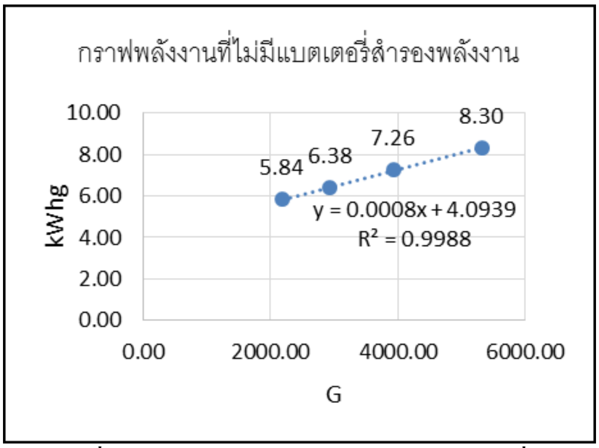


รูปที่ 22 กราฟพลังงานที่ได้แต่ละช่วงเวลาวันระบบไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

จากรูปที่22 สามารถอธิบายได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานในระยะเวลาหนึ่งวันจะมีการสูญเสียพลังงานสองช่วงคือช่วงเช้าและช่วงเย็นประเมินค่าการสูญเสียพลังงานได้จากตารางที่4.2

ตารางที่4 ลักษณะของการไหลกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบสายส่งที่ไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานในหนึ่งวัน

เวลา	แรงดัน (PV)	พลังงานที่ได้(kWh)	การไหลกำลังไฟฟ้า
5:40-6:35	<180	0.025	-
6:35-18:28	≥180	6.286	PV to Grid
18:28-19:16	<180	0.278	-
สูญเสีย			



รูปที่23 กราฟแสดงพลังงานระบบไม่มีแบตเตอรี่

การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดเพื่อประเมินการผลิตพลังงานของระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานโดยการแทนค่า พลังงานความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยในแต่ละเดือน [kWh/m^2] ลงในสมการที่ 1 ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ที่เก็บบันทึกข้อมูลการผลิตพลังงานจากระบบSolar Roof 2.28kW ที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน จึงได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$y = 0.0008x + 4.0939 \qquad (16)$$

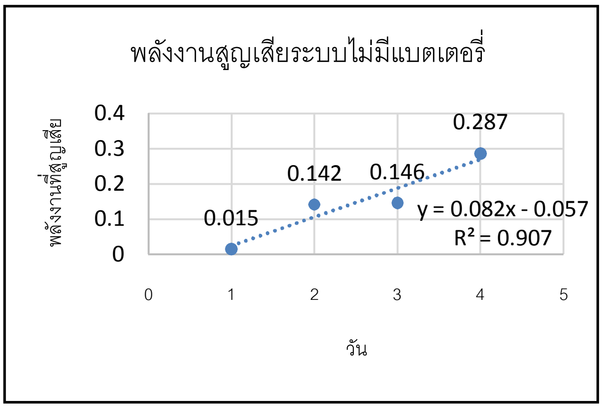
โดย ค่า y คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)

x คือ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ต่อพื้นที่ต่อวัน (kWh/m^2/day)

จากสมการที่ 16สามารถนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าได้ โดยป้อนค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือนและหาค่าเฉลี่ยเป็นรายวัน จากฐานข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน บริเวณ ต.ป่าไผ่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน แสดงดังตาราง4.3

ตารางที่ 5 การประเมินผลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

ลำดับ	เดือน	MJ/M2	kWh/M2	kWh/วัน	จำนวนวัน	kWh/เดือน
1	มกราคม	15.78	4.38	4.097	31	127.020
2	กุมภาพันธ์	18.09	5.03	4.908	28	114.742
3	มีนาคม	19.68	5.47	4.098	31	127.047
4	เมษายน	21.05	5.85	4.099	30	122.957
5	พฤษภาคม	19.40	5.34	4.098	31	127.043
6	มิถุนายน	17.65	4.90	4.098	30	122.935
7	กรกฎาคม	16.35	4.54	4.098	31	127.023
8	สิงหาคม	16.08	4.47	4.097	31	127.022
9	กันยายน	16.48	4.58	4.096	30	122.927
10	ตุลาคม	16.19	4.50	4.098	31	127.023
11	พฤศจิกายน	15.09	4.20	4.097	30	122.918
12	ธันวาคม	14.53	4.04	4.097	31	127.011
รวมพลังงานที่ได้ต่อปี						1495.668



รูปที่44กราฟแสดงพลังงานที่สูญเสียระบบไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

จากรูปที่4.8จะได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$y = 0.082x - 0.0575 \quad (17)$$

โดยค่าy คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียต่อวัน (kWh/วัน)

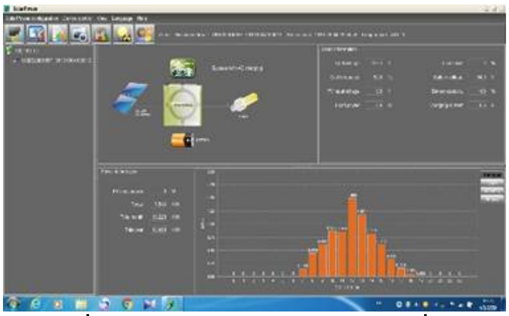
x คือปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ต่อพื้นที่ต่อวัน (kWh/m2/day)

ตารางที่ 6การประเมินผลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

ลำดับ	เดือน	MJ/M2	kWh/M2	kWh/วัน	จำนวนวัน	kWh/เดือน
1	มกราคม	15.78	4.38	0.302	31	9.351
2	กุมภาพันธ์	18.09	5.03	0.355	28	9.939
3	มีนาคม	19.68	5.47	0.391	31	12.122
4	เมษายน	21.05	5.85	0.422	30	12.666
5	พฤษภาคม	19.40	5.34	0.380	31	11.192
6	มิถุนายน	17.65	4.90	0.344	30	10.329
7	กรกฎาคม	16.35	4.54	0.297	31	9.194
8	สิงหาคม	16.08	4.47	0.309	31	9.580
9	กันยายน	16.48	4.58	0.318	30	9.542
10	ตุลาคม	16.19	4.50	0.312	31	9.657
11	พฤศจิกายน	15.09	4.20	0.287	30	8.607
12	ธันวาคม	14.53	4.04	0.274	31	8.487
รวมพลังงานสูญเสียต่อปี						120.666

จากตารางที่6 พลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่ายที่ไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานนอกจากจะมีการสูญเสียพลังงานจาก Loss ที่เกิดขึ้นในระบบแล้วยังมีการสูญเสียพลังงานช่วงเวลาเช้ากับช่วงเย็นอีกเนื่องจากเวลาสองช่วงนี้ค่าความเข้มของแสงจะน้อยและแรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำ จึงทำให้อินเวอร์เตอร์ไม่สามารถทำงานได้จึงเกิดการสูญเสียพลังงานเปล่า

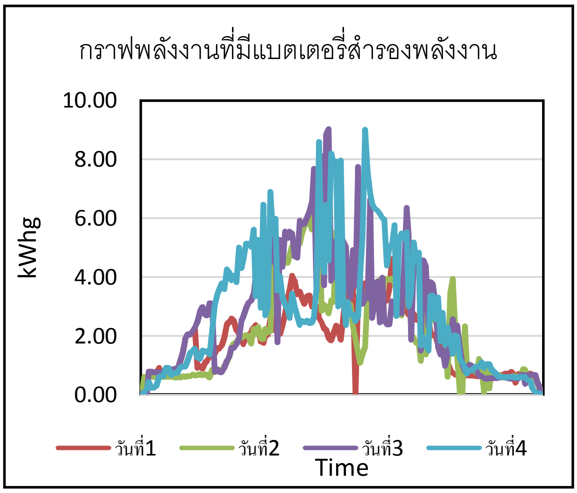
5.3.2 การเก็บบันทึกข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแบตเตอรี่



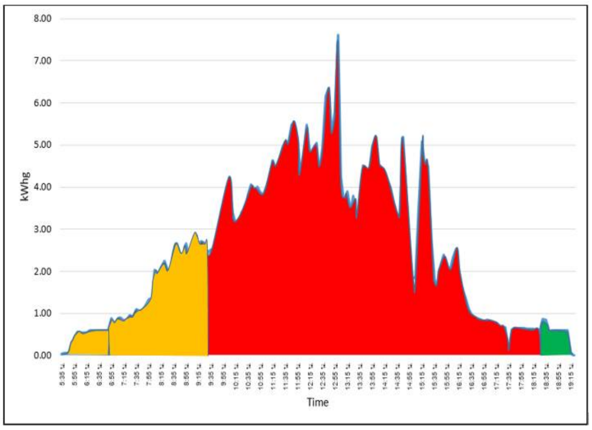
รูปที่25โปรแกรม Solar Power ระบบที่มีแบตเตอรี่

ตารางที่ 7 การเก็บบันทึกข้อมูลที่มีแบตเตอรี่

วัน	T	G	Vpv	Ipv	Vb	Ib	Vac	Iac	kWhg
1	30.74	348.14	224.78	2.59	48	0.4	232.26	2.34	5.951
2	29.5	206.96	227.49	2.65	48	0.09	232.32	2.57	6.467
3	28.8	239.4	232.57	3.85	48	0.2	243.7	3.64	7.364
4	33.2	347.2	219.3	3.94	48	0.26	231.45	3.88	8.446



รูปที่26กราฟพลังงานระบบที่มีแบตเตอรี่ของแต่ละวัน



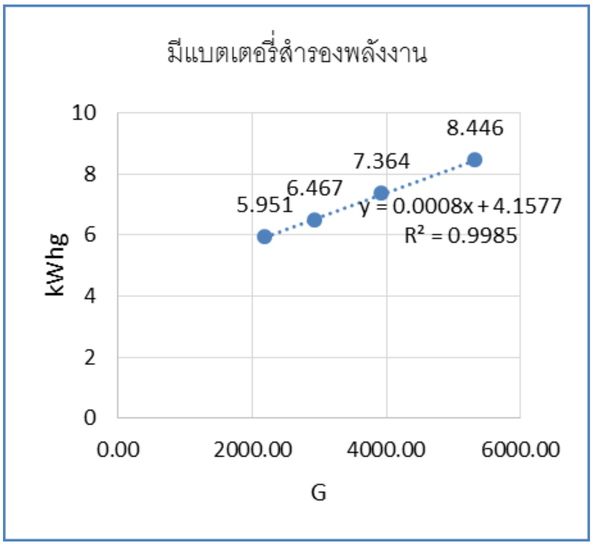
รูปที่27กราฟพลังงานที่ได้แต่ละช่วงเวลาวันระบบที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

จากกราฟที่ 27 สามารถอธิบายได้ว่าพลังงาน A คือพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะเก็บสำรองไว้ในแบตเตอรี่ในขณะที่แรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่ถึง 180 โวลต์ (แรงดันที่อินพุตอินเวอร์เตอร์ทำงาน) หรือแรงดันมากกว่า180โวลต์แต่กรับปรับโหมดอินเวอร์เตอร์ชาร์จที่แบตเตอรี่ก่อนโดยการตั้งเวลาตามกำหนดเมื่อถึงเวลาที่กำหนดการไหลกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะไหลไปยังที่ B พลังงาน B คือพลังงานที่ไหลเข้าระบบจำหน่ายจนถึงเวลา 18:30 น.หลังจากนั้นพลังงานจะหยุดไหลเข้าระบบจำหน่ายและจะไหลเข้าแบตเตอรี่แทน (C) เนื่องจากความเข้มแสงลดน้อยลงและทำให้แรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยกว่า180โวลต์จึงไหลเข้าแบตเตอรี่ที่แรงดัน 48 โวลต์ค่าพลังงานที่ได้แต่ละช่วงเวลาดังตารางที่ 8

ตารางที่8ลักษณะของการไหลกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบสายส่งที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานในหนึ่งวัน

เวลา	แรงดัน (PV)	พลังงานที่ได้ (kWhg)	การไหลกำลังไฟฟ้า	หมายเหตุ
5:35-6:30	<180	0.025	PV to Batt	กรณี PV>Grid > Batt
5:35-9:00	≥180	1.7	PV to Batt	กรณี PV >Batt >Grid
9:00-18:30	≥180	4.975	PV to Grid	
18:30-19:16	<180	0.685	PV to Batt	
19:16-22:00	0		Batt to Grid	

จากตารางที่8สามารถอธิบายลักษณะของการไหลกำลังไฟฟ้าได้ว่าช่วงเวลา 5:35น.-6:30น.พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์จะไหลเข้าแบตเตอรี่ในกรณีปรับโหมดการทำงาน PV >Grid > Battและอีกกรณีการปรับโหมด PV > Batt >Grid พลังงานจะไหลเข้าแบตเตอรี่จนเต็ม และจะค่อยไหลเข้ากริดกรณีนี้แรงดันจะมากหรือน้อยกว่า180โวลต์ลักษณะการไหลจะไหลเข้าแบตเตอรี่เพียงทางเดียวจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ (9:00น.) จึงจะไหลเข้ากริด จนถึงเวลา 18:30น. การไหลจะเปลี่ยนมาไหลเข้าแบตเตอรี่เนื่องจากแรงดันลดลงตามความเข้มของแสง ส่วนในช่วงเวลา 19:16 น.-22:00 น. จะเป็นการดึงพลังงานจากแบตเตอรี่นำไปใช้งานในระบบภายในบ้านและช่วยลดค่ากำลังสูงสุด



รูปที่ 28 พลังงานที่ได้แต่ละวันระบบที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดเพื่อประเมินการผลิตพลังงานและประหยัดพลังงานของระบบที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานโดยการแทนค่า พลังงานความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยในแต่ละเดือน [kWh/m^2] ลงในสมการที่ 18ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ที่เก็บบันทึกข้อมูลการผลิตพลังงานจากSolar Roof 2.28kW ที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน จึงได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$y = 0.0008x + 4.1577 \qquad (18)$$

โดย ค่า y คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)

x คือ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ต่อพื้นที่ต่อวัน (kWh/m^2/day)

จากสมการที่ 1 สามารถนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าได้ โดยป้อนค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือนและหาค่าเฉลี่ยเป็นรายวัน จากฐานข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน บริเวณ ต.ป่าไผ่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน แสดงดังตาราง 4.2

ตารางที่ 8 การประเมินผลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

ลำดับ	เดือน	MJ/M2	kWh/m^2	kWh/วัน	จำนวนวัน	kWh/เดือน
1	มกราคม	15.78	4.38	4.161	31	128.997
2	กุมภาพันธ์	18.09	5.03	4.162	28	116.528
3	มีนาคม	19.68	5.47	4.162	31	129.024
4	เมษายน	21.05	5.85	4.162	30	124.871
5	พฤษภาคม	19.40	5.34	4.162	31	129.021
6	มิถุนายน	17.65	4.90	4.162	30	124.849
7	กรกฎาคม	16.35	4.54	4.161	31	129.001
8	สิงหาคม	16.08	4.47	4.161	31	129.000
9	กันยายน	16.48	4.58	4.161	30	124.841
10	ตุลาคม	16.19	4.50	4.161	31	129.000
11	พฤศจิกายน	15.09	4.20	4.161	30	124.832
12	ธันวาคม	14.53	4.04	4.161	31	128.989
รวมพลังงานที่ได้ต่อปี						1518.953

จากตารางสรุปผลการประเมินปริมาณการผลิตพลังงานรายปีของระบบที่ได้มีการติดตั้ง เท่ากับ 2.28 kW ได้พลังงาน 1518.953 kWh/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับการประเมินผลผลิตพลังงานตามทฤษฎีจาก โดยคิดค่าชั่วโมงที่มี

แสงแดดเฉลี่ย4.7 kWh และค่าประสิทธิภาพระบบ 0.65 พบว่ามีค่าเท่ากับ 2093kWh/ปีซึ่งมีค่าที่ได้จากการตรวจวัดระบบที่มีการติดตั้งจริงน้อยกว่า1264.047kWh/ปีทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังนี้ รูปแบบการติดตั้ง ทิศและมุมของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์และระบบ ความไม่แน่นอนของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บข้อมูล เป็นต้น

การประเมินผลและเปรียบเทียบข้อมูลของระบบ

การประเมินและการเปรียบเทียบข้อมูลโดยการเปรียบเทียบจากการคำนวณตามทฤษฎีและเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลองระบบมีแบตเตอรี่สำรองพลังงานและไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานตามตารางที่ 9

ตารางที่9 การเปรียบเทียบข้อมูล

ระบบ	ค่าจากการคำนวณ	พลังงานที่วัดได้/ปี(kWhg)	คาดเคลื่อน (kWhg)
มีแบต	2093	1518.95	574
ไม่มีแบต	2093	1495.66	597
ค่าพลังงานที่ได้ของทั้ง 2 ระบบ			24

จากตารางที่9 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่แบตเตอรี่สำรองพลังงานและไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานมีการสูญเสียพลังงานทั่งสองระบบแต่ระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่จะเกิดการสูญเสียมากกว่าเนื่องจากในเวลาเช้ากับช่วงเวลาเย็นค่าความเข้มแสงน้อยแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่ถึง180 โวลต์ กริดอินเวอร์เตอร์ไม่สามรถทำงานได้ จะเป็นการสูญเสียพลังงานในช่วงเวลาดังกล่าวแต่ระบบที่มีแบตเตอรี่สามารถกักเก็บพลังงานและนำออกมาจ่ายให้กับระบบได้ในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง หรือนำมาลดกำลังไฟฟ้า(W) และพลังงานไฟฟ้า(Wh) ในช่วงที่มีอัตราค่าไฟฟ้าแพงได้ เช่น อาคารหรือกิจการที่ใช้อัตรา TOU (Time of Use)

6. อภิปรายผลการวิจัย

จากการทดสอบสมรรถนะของการไหลกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของระบบที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานและไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานพบว่าระบบพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบสายส่งที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงานมีประสิทธิภาพพลังงานที่ดีกว่า เล็กน้อย และได้ค่าแต่ค่ากำลังวัตต์จะลดลงได้มากกว่า ในช่วงเวลาเช้าระบบที่มีแบตเตอรี่จะทำงานได้เร็วกว่าและและช่วงเวลาเย็นจะทำงานได้นานกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการตั้งค่าการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ว่าให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ทำงานในโหมดกักเก็บพลังงาน หรือคายพลังงาน หรือจ่ายเข้าระบบไฟฟ้า หรือดึงไฟจากการไฟฟ้า ซึ่งทำให้ระบบที่มีแบตเตอรี่สามารถบริหารจัดการพลังงานตามช่วงเวลา ช่วงสภาวะโหลดสภาวะแสงอาทิตย์ได้

7. สรุป

จากการออกแบบติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายที่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.28 กิโลวัตต์ติดตั้งบนหลังคาบ้านพักอาศัย และใช้ อินเวอร์เตอร์ไฮบริดขนาด 3 กิโลวัตต์ ที่มีฟังก์ชันแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ และอัดประจุแบเตตอรี่ ให้กับแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์45 Ah จำนวน 4 ลูกต่ออนุกรมกันเป็นแรงดัน 48 โวลต์ และพัฒนาชุดตรวจวัดอุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ และวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้า ในรูปแบบต่างๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน และการลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่ ผลการวิเคราะห์พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดที่มีแบตเตอรี่ได้รับพลังงานมากกว่า และสามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน

ข้อเสนอแนะ

หากผู้ติดตั้งระบบต้องการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและกำลังไฟฟ้าตามอัตรา TOU(Time of Use) ในช่วงเวลา 18.00 - 22.00 น. ก็จะต้องคำนวณขนาดแบตเตอรี่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความเหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอาคาร เพื่อให้สามารถการจ่ายกำลังและพลังงานในช่วงเวลาดังกล่าวได้

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตเชียงราย ที่ได้สนับสนุนการศึกษา ให้สถานที่ในการทำงานวิจัย คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Mohammed A. Bou-Rabeea*, Dong-Hwa Hanb, Gyu-Ha Choeb, "A photovoltaic power generation system with peak cut function, International Journal of Smart Grid and Clean Energy, Volume 34, 2015 - Issue 8.

[2]Ioannis Hadjipaschalis, Andreas Poullikkas, Venizelos Efthimiou*, "**Overview of current and future energy storage technologies for electricpower applications"** Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 13, Issues 6–7, August–September 2009, Pages 1513–1522.

[3] Choi B-Y, Noh Y-S, Ji Y-H, *et al.* **"Battery-integrated power optimizer for PV-battery hybrid power generation system",**Proc. of IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2012:1343-1348.

[4]Nge CL, *et al.* "**PV with battery in smart grid paradigm: Price-based energy management system",**Proc. of 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2012:575-579.

[5]Nicholas DiOrio, Aron Dobos, Steven Janzou, Austin Nelson, and Blake Lundstrom, "**Techno-economic Modeling of Battery Energy Storage in SAM, Technical Report",**NREL/TP-6A20-64641,September 2015

[6]S.M. Sichilalu , X. Xia, **"Optimal power control of grid tied PV-battery-diesel system powering heat pump water heaters, Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future",**The 7th International Conference on Applied Energy (ICAE2015)

[7] Eric Hittinger, Ted Wiley, John Kluza, Jay Whitacre, **"Evaluating the value of batteries in microgrid electricity systems using an improved Energy Systems Model",** Energy Conversion and Management 89 (2015) 4 58–472.

[8] Global Sustainable Energy Solutions, "Grid – Connected PV Systems with Battery Storage" ISBN-978-1-921932-01-4.

การพัฒนาแนวทางการฟื้นฟูความชุ่มชื้นในป่าชุมชนจังหวัดลำปาง

RESTORATION GUIDELINES DEVELOPMENT FOR COMMUNITY FORESTS IN LAMPANG

บริบูรณ์ บุญยู่ฮง มีชัย ภัทรเปรมเจริญ พิสิษฐ์ มณีโชติ
หทัยทิพย์ นิลสนธิ มนัส สุวรรณ ณัฐิยา ตันตรานนท์*

Boriboon Boonyuhong Mechai Pattarapremcharoen Pisit Maneechot
Hathaithip Ninsonti Manut Suwan Nuttiya Tantranont*

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Nuttiya18@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและวิเคราะห์สภาพปัญหาของป่าชุมชนจังหวัดลำปาง พร้อมทั้งเสนอแนวทางการฟื้นฟูความชุ่มชื้นในป่าชุมชน 4 แห่ง ที่มีการจัดการโดยชุมชนในช่วงเวลา 6-14 ปี ที่ผ่านมาซึ่งผู้วิจัยใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพจากการสำรวจและสัมภาษณ์เพื่อรวมรวมข้อมูล สภาพปัญหา ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของป่า จากปราชญ์อาวุโสในชุมชนและนักวิชาการสวนรุกขชาติจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และประมวลผล พร้อมทั้งเสนอแนวทางการฟื้นฟูความชุ่มชื้นในป่า โดยเน้นให้ระบบนิเวศของป่าดำรงอยู่ได้ด้วยตนเอง ผลการวิจัยพบว่า ขบวนการฟื้นฟูสภาพป่าของแต่ละชุมชน ควรเริ่มจากการปลูกจิตสำนึกให้เกิดความรักและต้องการที่จะฟื้นฟูสภาพป่าป้องกันการบุกรุก การตัดไม้ และการเผาป่านอกจากนี้ ชุมชนควรสร้างฝายชะลอน้ำและปลูกต้นไม้เสริม โดยเพิ่มพันธุ์พืชไม้อายุยืนที่มีใบสีเขียวตลอดทั้งปีอาทิเช่น เต่าร้าง มะม่วงป่า หว้าและยางนาซึ่งเป็นพันธ์ไม้ที่เคยปรากฏอยู่ในพื้นที่ และยังมีศักยภาพเพียงพอที่จะช่วยบดบังแสงแดดให้กับพื้นป่า ปกป้องความชุ่มชื้นให้กับป่าด้วยปริมาณใบไม้สีเขียวในหมู่ชั้นเรือนยอดและเพิ่มการใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์จากขบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ พืชทั้ง 4 ชนิด ยังเป็นพืชอาหารซึ่งมีประโยชน์ต่อสัตว์ป่าอีกด้วยการเพิ่มไม้ยืนต้นที่มีใบเขียวทั้งปี จึงควรเป็นหนึ่งในมาตรการหลักในการฟื้นฟูป่าด้วยกระบวนการรากไม้ลากน้ำเพื่อช่วยเร่งให้ป่ามีพัฒนาการที่เร็วขึ้นกว่าปกติ

Abstract

This research has objectives to investigate and analyze conditions of problems happening with community forests in Lampang province, as well as to suggest solutions for recovering humidity in 4 community forests that have been managed by local communities during the last 6-14 years period. With a qualitative research approach, the researcher conducted surveys and interviews with senior gurus in the communities and officers of the nearby arboretum in order to collect data regarding the problems, opinions, and suggestions on means to recover richness of forests. The collected data were then analyzed and processed to derive suggestions on forest humidity recovery based mainly on self- reliance of the forest ecosystem. The results revealed that the process of recovering community forests should start from raising awareness of the local people to love and desire to rehabilitate the forest and protect it from encroachment, illegal logging, and burning. In addition, the community should build some weirs (check dams) and grow more trees with an emphasis on long-living evergreen tree species, such as Tao Rang, Ma Muang Pa, Waa, and Yang Na. These trees are native species of the area and have capacities to provide shade for the forest floor, protect the forest's humidity with abundant green leaves on their canopies, and enhance solar utilization via the photosynthesis process. Besides, all these 4 tree species can provide nutritious food for wildlife. Therefore, adding more evergreen trees to the deteriorated forests should be one of the key measures for recovering them with the water drawing process of evergreen tree’s roots in order to accelerate forest development.

คำสำคัญ: การฟื้นฟูความชุ่มชื้นในป่า,รากไม้ลากน้ำ, กระบวนการสังเคราะห์แสง

Keywords: forest humidity recovery, water-drawing tree's roots, photosynthesis

1. บทนำ

ในอดีตประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติหลากหลายชนิด ป่าไม้เป็นหนึ่งในทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มนุษย์สามารถพึ่งพาตนเองและแสวงหาปัจจัยสี่ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตได้จากป่าไม้ ป่าไม้ที่มีความชุ่มชื้นเป็นต้นกำเนิดสายน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและเพื่อการเกษตรเลี้ยงชีพให้กับประชาชนในชุมชน เมื่อป่าไม้ถูกทำลายย่อมมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

สถานการณ์ป่าไม้ของประเทศไทยเรียกได้ว่าอยู่ในขั้นวิกฤติ ซึ่งพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยมีจำนวนลดลงไปเรื่อย ๆ จาก 171 ล้านไร่ หรือร้อยละ 53 ของพื้นที่ประเทศ ในปี พ.ศ. 2504 เหลือเพียง102 ล้านไร่ ในปี พ.ศ. 2556 (กรมป่าไม้ 2558) ส่งผลต่อความแปรปรวนของสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย เช่น น้ำท่วม ฝนแล้ง ดินถล่ม และไฟป่าฯ เป็นต้น

สังคมได้ตะหนักถึงความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม อันเป็นผลต่อเนื่องจากการลดลงของพื้นที่ป่า หลายภาคส่วนได้ลุกขึ้นมาช่วยกันรณรงค์ ปกป้องคุ้มครองป่า โดยเฉพาะรัฐได้ประกาศยกเลิกสัมปทานทำไม้ในปี พ.ศ. 2434 หลังเหตุโศกนาศกรรมดินโคนถล่มที่จังหวัดนครศรีธรรมราช หนึ่งมาตรการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมคือ การเร่งฟื้นฟูป่าเพื่อเพิ่มพื้นที่ให้เป็นไปตามเป้าหมายของประเทศที่กำหนดให้เมืองไทยต้องมีป่าร้อยละ 40 (กรมป่าไม้ 2559ก)

อย่างไรก็ตามการปลูกป่าดังกล่าวได้ตะหนักถึงจำนวนต้นไม้ต่อหน่วยพื้นที่ ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ของการปลูกป่าเพื่อให้พื้นที่นั้นๆพ้นจากคำว่าป่าเสื่อมโทรมเป็นป่าสมบูรณ์ โดยมิได้คำนึงถึงคุณภาพของป่าในการทำหน้าที่ให้กับระบบเหมือนเช่นในอดีต จึงทำให้ปัจจุบันแม้พื้นที่จะเพิ่มขึ้นจาก 26.64% ในปี พ.ศ. 2534 เป็น 31.60% ในปี พ.ศ. 2558 (กรมป่าไม้ 2559ข)แต่สถานการณ์สิ่งแวดล้อมก็ไม่ได้ลดลงตามพื้นป่าที่เพิ่มขึ้นเพราะเป็นการเพิ่มขึ้นในเชิงปริมาณ การทำให้คุณภาพของป่าที่มีอยู่ให้ดีขึ้นจึงเป็นกุญแจสำคัญในการแก้วิกฤตสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย

จังหวัดลำปางแม้จะมีพื้นที่ป่าสูงถึง ร้อยละ 68.6 ของพื้นที่จังหวัดก็ยังต้องเผชิญกับปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยได้ประกาศเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาภัยพิบัติจากภัยแล้ง แม่น้ำวังมีปริมาณลดลงเป็นอย่างมาก ซึ่งกระทบกับแผนการใช้น้ำเพื่อการเกษตร การอุปโภค และการบริโภค ด้วยเหตุนี้ ชุมชนหลากหลายแห่งจึงตระหนักถึงความสำคัญในการจัดหาแนวทางการฟื้นฟูพื้นที่ป่าที่เป็นต้นทุนทางธรรมชาติ เพื่อให้มีป่าชุมชนที่ให้ปัจจัยสี่ ได้อย่างต่อเนื่อง มีปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการเกษตรอย่างเหมาะสม รวมทั้งมีการอุปโภคและบริโภคอย่างพอเพียง การศึกษานี้ จึงมุ่งหามาตรการฟื้นฟูป่าด้วยรูปแบบที่เน้นการรักษาความชุ่มชื้นของป่า เพื่อรักษาน้ำและความชื้นในป่าให้ยาวนานขึ้นกว่าเดิม

2. วัตถุประสงค์

การวิจัยเรื่องการพัฒนาแนวทางการฟื้นฟูความชุ่มชื้นในป่าชุมชนจังหวัดลำปาง มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อสำรวจและวิเคราะห์สภาพปัญหาการฟื้นฟูป่าในพื้นที่ 4 ชุมชน ได้แก่ 1) บ้านสามขา ตำบลหัวเสือ อำเภอแม่ทะ 2) บ้านสาสบหก ตำบลบ้านสา อำเภอแจ้ห่ม 3) บ้านไร่ศิลาทอง ตำบลพิชัย อำเภอเมืองลำปาง และ 4) บ้านต้นต้องตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
2. เพื่อเสนอแนวทางการฟื้นฟูความชุ่มชื้นในป่าด้วยกระบวนการมีส่วนร่วมกับชุมชน

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ป่าชุมชน หมายถึงพื้นที่ที่ได้รับการจัดการโดยขบวนการของชุมชนเพื่อให้เกิดประโยชน์ตามความประสงค์ของชุมชนอย่างยั่งยืน (กรมป่าไม้,2555) ซึ่งเหตุผลสำคัญของการจัดให้มีป่าชุมชน คือการอาศัยพลังของชุมชนท้องถิ่นในการฟื้นฟูและดูแลพื้นที่ป่า ให้เป็นป่าธรรมชาติที่สมบูรณ์ เป็นพื้นที่ที่มีประโยชน์ต่อการรักษาระบบนิเวศ ฟื้นฟูแหล่งน้ำและความชุ่มชื้น

ตลอดจนการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ โดยป่าชุมชุน ต้องมี 3 องค์ประกอบหลัก คือ 1) พื้นที่ดำเนินการ 2) การบริหารจัดการ และ 3) การใช้ประโยชน์

พื้นที่ที่ดำเนินการจัดตั้งเป็นป่าชุมชนนั้น อาจเป็นป่าสงวนแห่งชาติ พื้นที่สาธารณประโยชน์ และอาจจะอยู่ในพื้นที่ของเขตอุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า (กรณีประกาศเขตป่าอนุรักษ์ทับป่าสงวนแห่งชาติที่ใช้เป็นป่าชุมชนอยู่ก่อน) ซึ่งป่าชุมชนควรแบ่งออกเป็นสองบริเวณ คือ บริเวณพื้นที่อนุรักษ์ และบริเวณพื้นที่ใช้สอย โดยป่าชุมชนที่กันไว้เป็นพื้นที่อนุรักษ์ ก็เพื่อให้เป็นพื้นที่สนับสนุนทุนของบริเวณพื้นที่ใช้สอย ซึ่งจะถูกเก็บเกี่ยวประโยชน์โดยชุมชนผู้ดูแลต่อไป (รตยา จันทรเทียร, 2554)

การปลูกไม้เสริมเป็นมาตรการช่วยให้ป่าชุมชนฟื้นฟูเร็วยิ่งขึ้น พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุล และคณะ(2556) ได้ศึกษาการทดแทนตามธรรมชาติของป่าธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พบว่าพื้นที่ป่าประเภทนี้จะมีพรรณไม้ดั้งเดิมประจำถิ่นของชนิดป่านั้นๆ เหลือน้อยและยากที่ฟื้นตัวกลับเป็นป่าธรรมชาติที่สมบูรณ์ดุจเดิมได้ หรือต้องใช้เวลานานมาก โดยเฉลี่ยแล้วพื้นที่ที่สภาพเดิมเป็นป่าดิบเขาและป่าเต็งรัง ต้องการเวลาถึง 50 ปี และ 60 ปี ในการฟื้นตัว (gap phase) และใช้เวลาอีก 50 ปี และ 62 ปี ในการพัฒนาการเจริญเติบโต (building phase) และสุดท้ายต้องการเวลาอีก 100 ปี และ 122 ปี ในการเจริญเติบโตและพัฒนาเป็นป่าที่สมบูรณ์ รวมทั้ง ได้เสนอแนะว่า การจะเข้าไปช่วยฟื้นฟูหรือปรับปรุงป่าเหล่านี้ ควรจะเข้าไปดำเนินการในช่วงแรก คือ ในระยะฟื้นตัวหรือ gap phase โดยดำเนินการป้องกันควบคุมดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด เช่น การป้องกันการเข้าบุกรุกซ้ำในที่เดิม การควบคุมไฟป่าอย่างเข้มงวดเป็นต้นจะสามารถลดระยะเวลาในการฟื้นตัวของป่าในช่วงแรกจาก 50 ปี หรือ 60 ปี เหลือเพียง 10 ปี

ภูมิปัญญาท้องถิ่นเข้ามามีบทบาทสำคัญในการอนุรักษ์และฟื้นฟู ป่าชุมชน (สหัทยา วิเศษ 2540) โดยอาศัยพื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติที่ถูกถ่ายทอดต่อๆ กันมาในรูปของ ข้อห้าม ความเชื่อประเพณี และวัฒนธรรม เพื่อให้ชุมชนอยู่อย่างกลมกลืนกับธรรมชาติ พึ่งพาซึ่งกันละกัน เช่นการเลี้ยงผีขุนน้ำ การบวชป่า (http:// www.prapayneethai.com)ที่ล้วนให้ความสัมพันธ์กับต้นไม้ใหญ่ ที่เป็นเสมือนร่มเงาของผลประโยชน์ที่ชุมชนจะได้รับจากป่าที่มีไม้เหล่านี้ขึ้นอยู่

การสร้างฝายชะลอน้ำ นับเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีการนำมาใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการฟื้นฟูป่าชุมชน เช่น บ้านสามขา อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง (จิดาภา จำปา 2553) บ้านกิ่วท่ากลาง-ท่าใต้ ตำบลบ้านกิ่ว อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง (ขวัญนภา สุขคร2552) ซึ่งฝายชะลอน้ำนี้สามารถช่วยพลิกฟื้นป่าต้นน้ำของชุมชนให้กลับมาสมบูรณ์อีกครั้ง โดยฝายชะลอน้ำช่วยลดความรุนแรงของกระแสน้ำในลำห้วยในช่วงฤดูฝนและช่วยลดการพังทลายของดิน ส่วนในฤดูแล้ง ฝายจะช่วยดักตะกอน และช่วยชะลอการไหลของน้ำทำให้น้ำค่อยๆไหล คงความชุ่มชื้นให้คงอยู่นานขึ้น เป็นประโยชน์ต่อพืชพันธุ์ แมลง และสัตว์ป่า ที่อาศัยอยู่ในป่า ได้อาศัยความชุ่มชื้นจากแหล่งเก็บน้ำนั้น เพราะเป็นการช่วยเติมน้ำให้เก็บรักษาไว้ในพื้นดิน บริเวณป่าเขาต้นน้ำนั่นเอง

อย่างไรก็ตาม พระประมวล บุตรดี (2552) ศึกษาการดำเนินกิจกรรมการสร้างฝายชะลอน้ำของชุมชนบ้านสาสบหก จังหวัดลำปาง พบว่า การสนับสนุนเงินทุน และความรู้ ในการสร้างฝายชะลอน้ำ จากองค์กรภายนอก จะมีส่วนช่วยสร้างความสำเร็จในการพัฒนาได้ในระดับหนึ่ง แต่จะไม่ยั่งยืน หากขาดการสร้างเครือข่ายในการดูแลรักษา และเสนอแนะว่าควรมีการผสมผสานกันระหว่างภูมิปัญญาท้องถิ่นเดิมกับองค์ความรู้ใหม่

การใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน เป็นหัวใจของหลักการป่าชุมชน โดยการใช้ประโยชน์จากป่าชุมชน ต้องไม่ใช่เป็นการใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่ชุมชน แต่เป็นการใช้เพื่อลดรายจ่ายของคนในชุมชน เช่นการเก็บผลิตผลจากป่าเพื่อเป็นอาหารในครัวเรือนการตัดไม้เพื่อใช้ในกรณีจำเป็นในครัวเรือน หรือเพื่อประโยชน์สาธารณะของชุมชนตามกติกาที่ชุมชนได้ร่วมกันจัดทำขึ้น เช่นห้ามนำรถบรรทุกเข้าไปในพื้นที่ป่าในฤดูฝน เพื่อ

ป้องกันการเก็บหน่อไม้เกิดกำหนดของชุมชนเขาราวเทียนทอง ตำบลเนินขามกิ่งอำเภอเนินขามจังหวัดชัยนาท (http://www.khaorao.org/index.html)การห้ามจุดไฟเผาป่าของชุมชนบ้านสามขา (พรพิมลชำรัมย์, 2546) เป็นต้น

ดังนั้น รูปแบบ ข้อกำหนด หรือกฎิกา และความร่วมมือจากคนในชุมชน ในการจัดการป่าชุมชน จึงเป็นมาตรวัดความสำเร็จของโครงการอย่างแท้จริง

4. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้วิธีการเก็บข้อมูล 3 วิธี คือ

1. การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิของป่าชุมชนทั้ง 4 หมู่บ้าน คือ บ้านสามขา บ้านสาสบหก บ้านไร่ศิลาทอง และบ้านต้นต้อง

2. การลงพื้นที่เพื่อสำรวจร่วมกับผู้นำชุมชนและเจ้าหน้าที่จากสำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 13 (สาขาลำปาง) กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืชเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลทางกายภาพของชนิดพันธุ์ไม้ สภาพพื้นที่ ความลาดชัน ตลอดจนแหล่งน้ำของพื้นที่ป่าชุมชน ทั้ง 4 หมู่บ้าน เพื่อพัฒนาแนวทางเร่งการฟื้นฟูสภาพป่าที่มุ่งเน้นให้ระบบนิเวศของป่าสามารถดำรงอยู่ได้ด้วยตนเอง โดยอาศัยการช่วยเหลือ หรือดูแลจากชุมชนน้อยที่สุด

3. การสัมภาษณ์ปราชญ์อาวุโสในชุมชน และผู้นำชุมชน จาก 4 ชุมชน และนักวิชาการจากสวนรุกขชาติห้างฉัตร และดอยพระบาท เพื่อรวบรวมข้อมูลสภาพปัญหา ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของป่าชุมชน 4 หมู่บ้านโดยเฉพาะข้อมูลเชิงคุณภาพ ในประเด็นดังต่อไปนี้คือ

1.1 การมีส่วนร่วมของชุมชนในการฟื้นฟูป่า
1.2 ลำดับขั้นตอนการฟื้นฟูป่า
1.3 กิจกรรมที่ดำเนินการฟื้นฟูป่า
1.4 ชนิดพันธุ์ไม้ที่ใช้ในการปลูกฟื้นฟูป่า
1.5 ปัญหาและอุปสรรคในการฟื้นฟูป่า

5. ผลการวิจัย

1. สภาพปัญหาการฟื้นฟูป่าในพื้นที่ 4 ชุมชน

จากการลงพื้นที่เพื่อสำรวจข้อมูลและสัมภาษณ์ผู้นำชุมชน ปราชญ์อาวุโสในชุมชนของทั้ง 4 ชุมชน พบว่ากิจกรรมที่ดำเนินการที่ผ่านมาสามารถช่วยฟื้นฟูป่าขึ้นมาได้ในระดับที่น่าพึงพอใจ จนก้าวข้ามจากคำว่าป่าเสื่อมโทรมเป็นป่าสมบูรณ์ตามมาตรฐานความหมาย ป่า เริ่มมีต้นไม้มากขึ้น ทึบขึ้น สามารถเพิ่มได้ทั้งปริมาณและการไหลของน้ำได้มากกว่าในอดีตภายหลังป่าถูกทำลาย แต่ยังไม่สามารถฟื้นฟูความชุ่มชื้นในป่าได้ จนถึงขั้นที่ป่ามีความชุ่มชื้นเพียงพอเหมือนอดีตก่อนที่ป่าจะถูกทำลาย ที่มีไม้ใหญ่ปกคลุมผืนป่า สังคมพืชริมน้ำมีอุดมไปด้วยพืชอวบน้ำ และไม้ตระกูลหวาย และปาล์ม เช่นเต่าร้าง หวายหลายๆชนิดซึ่งจะป้องกันตนเองจากไฟป่าที่ลามจากพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่รอบข้างหรือการเผาป่าเพื่อวัตถุประสงค์ส่วนตัวตามความเชื่อดั้งเดิมได้ เพราะพันธุ์ไม้ที่นำมาปลูกนั้น ยังไม่เหมาะสมต่อการควบคุมความชื้นและปกป้องป่า (ตารางที่ 1) โดยพบว่า เมื่อต้นปี 2559 ป่าชุมชนของบ้านสามขา ถูกไฟเผาทำลายสภาพไปกว่าร้อยละ 80 ของพื้นที่ ในขณะที่ ป่าชุมชนบ้านสาสบหก ป่าชุมชนบ้านต้นต้อง และป่าชุมชนบ้านไร่ศิลาทอง ซึ่งเป็นพื้นที่ป่ารอบวัดม่อนพญาแช่ต่างก็ยังประสบกับภัยคุกคามจากไฟป่าในฤดูกาลไฟป่าด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณความชื้นในป่า และเชื้อเพลิงจากใบไม้ที่ร่วงหล่น ยังคงเอื้อต่อการเกิดไฟป่าและการลุกลามของไฟป่า ซึ่งปราชญ์อาวุโสในชุมชน รวมทั้งผู้สูงอายุ ได้ให้ข้อมูลว่า ในอดีตป่าในจังหวัดลำปาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อครั้งเริ่มตั้งหมู่บ้านที่มีการแผ้วถางเปิดป่า ป่าธรรมชาติมีความชื้นเพียงพอที่จะหยุดยั้งการลามของไฟที่ชาวบ้านใช้ในการช่วยขยายพื้นที่ทำการเกษตรได้

จากเอกสารข้อมูลทุติยภูมิ กิจกรรมการปลูกเสริมป่าร่วมกับข้อมูลจากการสัมภาษณ์ และจากการเดินสำรวจในพื้นที่ป่าชุมชนทั้ง 4 แห่ง พบว่าถึงแม้ว่าชุมชนจะดำเนินการฟื้นฟูระบบนิเวศต้นน้ำ โดยการปลูกเสริมด้วยพันธุ์ไม้ท้องถิ่นดั้งเดิมหลายชนิดแต่พรรณไม้ที่มีการนำมาปลูกเพื่อฟื้นฟูป่าส่วนใหญ่ เช่น มะค่า สัก ไผ่ ฯ

ล้วนเป็นพันธุ์ไม้ที่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับการกักเก็บบดบังพลังงานแสงอาทิตย์ และสะสมความชื้นให้กับพื้นที่ป่า (ตารางที่ 1.) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงฤดูแล้ง ในทางตรงกันข้าม พรรณไม้เหล่านี้ เช่น มะค่า สัก ไผ่ ฯ กลับเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงให้กับป่าเสียด้วยซ้ำ ไม่ได้เป็นพืชที่ช่วยบดบังแสงแดด หรือคลุมดินให้กับป่า หรือกักเก็บความชื้น ในหน้าแล้ง การปลูกป่าที่ผ่านมาคำนึงถึงการเพิ่มจำนวนต้นไม้ เป็นประเด็นสำคัญ ปลูกให้เข้าตามหลักเกณฑ์มีจำนวนต้นไม้มากขึ้นเท่านั้น อาจกล่าวได้ว่า การดำเนินงานที่ผ่านมา เป็นการคำนึงถึงการทำให้ป่าของชุมชนก้าวข้ามคำว่าป่าเสื่อมโทรม ตามคำจำกัดความ หรือตามลักษณะทางกายภาพ โดยมิได้คำนึงถึงหน้าที่ (Function) ของป่าที่ให้กับระบบในภาพรวม หรือหาได้คำนึงถึงประโยชน์ทางนิเวศเช่น ระยะเวลาในการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ ฯ จากชนิดของพันธุ์ไม้แต่ละชนิดที่นำมาปลูก เหมือนในอดีตที่ป่ายังคงความอุดมสมบูรณ์

ตารางที่ 1 รายชื่อพรรณไม้ที่มีในพื้นที่ป่าชุมชน แต่ละแห่งจากสำรวจและสอบถาม

ชื่อป่าชุมชน	พันธุ์ไม้ที่เคยมี	พันธ์ไม้ที่เหลืออยู่อย่างปะปรายและมีขนาดเล็กในปัจจุบัน
1.บ้านสามขา	1.ตะเคียนทอง 2.มะไฟป่า 3.ยางนา4.ยมหิน 5.มะม่วงป่า 6. ตองเต้ง7.เต่าร้าง8. ลำพูป่า9. หว้า 10. มะค่า 11.กล้วยป่า 12. เหียง13.เบญจพรรณทั่วไป	1.ตะเคียนทอง 2.มะไฟป่า 3.ยางนา 4.ยมหิน 5.มะม่วงป่า 6. ตองเต้ง7.เต่าร้าง 8. ลำพูป่า 9. หว้า 10. มะค่า 11.กล้วยป่า12.เหียง 13.เบญจพรรณทั่วไป
2.บ้านสาสบหก	1.กล้วยป่า2.ตะเคียนทอง3.มะไฟป่า4.ยางนา 5.ยมหิน 6. เต่าร้าง7.หว้า 8.ลำพูป่า 9.ตองเต้า	1.เต็ง 2.มะค่า 3.รัง 4.มะม่วงป่า5.เบญจพรรณทั่วไป
3.บ้านต้นต้อง	1.กล้วยป่า 2.ตะเคียนทอง3.ยมหิน 4.เต่าร้าง 5.หว้า 6.ลำพูป่า 7.ตองเต้า	1.สัก 2.เต็ง 3.มะค่าโมง 4.กะบก 5.มะมื่น 6.มะม่วงป่า 7.ยางนา 8.ตะแบก 9.มะไฟป่า 10.รัง 11.เบญจพรรณทั่วไป
4.บ้านไร่ศิลาทอง	1.กล้วยป่า2.ตะเคียนทอง3.มะไฟป่า 4.ยางนา 5.ยมหิน6.เต่าร้าง 7.หว้า 8.ลำพูป่า 9.ตองเต้า	1.มะค่า 2.เต็ง 3.เหียง 4.มะม่วงป่า 5.ตองตึง 6.รัง 7.เบญจพรรณทั่วไป

2. แนวทางในการฟื้นฟู

เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการฟื้นฟูป่าชุมชน พบว่า ชุมชนบ้านสามขาแม้จะดำเนินการต่อเนื่องมาแล้วเป็นเวลากว่า14 ปี เป็นพื้นที่ศึกษาดูงานของทั้งภาครัฐและเอกชน ชุมชนเองก็มีการถ่ายทอดองค์ความรู้ประสบการณ์ ไปสู่กลุ่มคนรุ่นใหม่ในชุมชนเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของโครงการฯ แต่ยังต้องคงกิจกรรมการฟื้นฟูป่าเหมือนเมื่อเริ่มต้นโครงการ นั่นคือ การลาดตะเวน ดับไฟ ทำแนวกันไฟ สร้างฝาย และปลูกป่า ที่ล้วนแต่ต้องอาศัยชุมชนเป็นผู้ลงมือกระทำ ซึ่งในระยะเวลา 14 ปีนี้ ระบบต้องอยู่ตัว ยืนหยัดอยู่ได้ด้วยตัวเองชุมชนคอยเก็บเกี่ยวผลประโยชน์ หน้าที่ของชุมชนควรมีเพียงให้ความคุ้มครองการใช้ทรัพยากรธรรมชาติไม่ให้เกินขีดจำกัด และการปลูกจิตสำนึกให้เยาวชน เพื่อสร้างความเข้มแข็ง ให้กับชุมชนในการช่วยกันรักษาป่า ไม่เป็นผู้ทำลายป่าเหมือนเช่นในอดีตเท่านั้น

จากการสอบถามปราชญ์อาวุโสในชุมชนผู้นำชุมชน และจากการเดินสำรวจร่วมนักวิชาการด้านพันธ์ไม้ พบว่ามีพันธุ์ไม้ 10 ชนิด ที่เป็นพืชใบเขียวตลอดทั้งปี ที่ในอดีตเคยปรากฏอยู่ในพื้นที่แต่ในปัจจุบันได้หมดไปจากพื้นที่หรือมีจำนวนน้อย พืชทั้ง 10 ชนิด คือ

1) กล้วยป่า(*Musa acuminata*Colla.)

2) ตะเคียนทอง(*HopeaodorataRoxb.*)

3) มะไฟป่า (*BaccaurearamifloraLour.*)

4) ยางนา(*DipterocapusalatusRoxb. exG.Don.*)

5) ยมหิน(*ChukrasiatabularisA.Juss.*)

6) มะม่วงป่า(*MangiferacaloneuraKurz.*)

7) เต่าร้าง(*CaryotamitisLour.*)

8) หว้า (*Syzygium cumini* (L.) Skeels)

9) ลำพูป่า (*DuabangagrandifloraWalp.*)

10) ตองเต้า(*MallotusbarbatusMull.Arg.*)

จึงได้ทำการคัดเลือกชนิดไม้ที่มีความเหมาะสมในการปลูกเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับป่าโดยมีเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

เกณฑ์ที่ 1) เป็นไม้ขนาดใหญ่ อายุยืน ไม่ผลัดใบพร้อมกันทั้งต้นเพื่อให้ต้นไม้ได้ทำหน้าที่ในการกักเก็บพลังงานอาทิตย์ได้ตลอดทั้งปี รวมทั้งลดการแผดเผาหน้าดินใต้พื้นป่าในช่วงฤดูแล้ง

เกณฑ์ที่ 2) เป็นอาหารหรือสมุนไพร เพื่อให้ชาวบ้านได้เก็บเกี่ยวผลประโยชน์

เกณฑ์ที่ 3) เป็นอาหารของสัตว์ป่าเพื่อดึงดูดชักนำให้สัตว์ป่าเข้ามาในพื้นที่

เกณฑ์ที่ 4) เป็นไม้โครงสร้าง เพื่อให้ร่มเงา และเป็นแหล่งกระจายพันธุ์ไม้ของป่า

เกณฑ์ที่ 5) เป็นไม้ที่ได้มีการทดลองปลูกในพื้นที่ที่มีป่าโครงสร้างเดิมอยู่แล้ว

จากรายชื่อพันธุ์ไม้ 10 พบว่ามีพันธุ์ไม้ 4 ชนิดที่เข้าหลักเกณฑ์ดังกล่าวมากที่สุด คือ เต่าร้าง มะม่วงป่า หว้า และยางนา (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นไม้ที่มีระบบรากที่แผ่กว้างเพื่อค้นหา แล้วดูดซึมน้ำไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง ที่ทำงานตลอดปี ซึ่งเมื่อนำมาปลูกในป่าชุมชนทั้ง 4 แห่งแล้ว นอกจากจะเป็นการบดบังแสงแดดไม่ให้ส่องถึงพื้นป่าตลอดทั้งปี จึงช่วยรักษาและเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับป่าแล้ว ชาวบ้านยังได้ใช้ประโยชน์จากไม้ในรูปของอาหารและสมุนไพร โดยที่ไม่จำเป็นต้องตัดฟัน และยังเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ป่าในการเป็นแหล่งอาหาร และที่พักอาศัย หลบภัยอีกด้วย

6. อภิปรายผลการวิจัย

วิกฤติการทำลายป่า เกิดขึ้นพื้นที่เขตร้อน (Tropical Zone) ทั่วโลก สำหรับประเทศไทยนั้น พื้นที่ป่าลดลงจาก 273,629.00 ตารางกิโลเมตร หรือ 53.33 % ของพื้นที่ประเทศไทย ใน ปี พ.ศ. 2504 (กรมป่าไม้ 2559ข) เหลือเพียง 163,585.6 ตารางกิโลเมตร หรือ 31.60 % ของพื้นที่ประเทศไทยใน ปี พ.ศ. 2558 (กรมป่าไม้ 2559ค)คิดเป็นพื้นที่ป่าที่หายไป 110,043.43 ตารางกิโลเมตร ในช่วงเวลา 54 ปี หรือหายไปเฉลี่ยปีละประมาณ 2,037.84 ตารางกิโลเมตร (1,273,650.80 ไร่) กล่าวอีกนัยหนึ่งพื้นที่ป่าที่หายไปนี้ อดีตคือระบบนิเวศน์และระบบการผลิตขนาดใหญ่ ที่ใช้แสงอาทิตย์ และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นส่วนประกอบในการผลิตปัจจัย 4 ให้กับมนุษยชาติ ในรูปของไม้ และผลิตภัณฑ์จากป่า เช่น เห็ด หน่อไม้ สมุนไพร รวมทั้งทำหน้าที่รักษาสมดุลของสภาพภูมิอากาศ เมื่อป่าหายไป ในขณะที่แสงอาทิตย์คงที่และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้ถูกกำจัดออกไปจากขบวนการสังเคราะห์แสงของพื้นป่า

ตารางที่ 2.เกณฑ์การเลือกพันธุ์ไม้ ที่เหมาะแก่การฟื้นฟูความชุ่มชื้นของป่า

ชนิด	เกณฑ์ที่ 1	เกณฑ์ที่ 2	เกณฑ์ที่3	เกณฑ์ที่4	เกณฑ์ที่ 5
1. กล้วยป่า			✓		
2. ตะเคียนทอง	✓			✓	
3. มะไฟป่า			✓		
4. ยางนา	✓	✓		✓	✓
5. ยมหิน	✓			✓	
6. มะม่วงป่า	✓		✓	✓	✓

ชนิด	เกณฑ์ที่ 1	เกณฑ์ที่ 2	เกณฑ์ที่3	เกณฑ์ที่4	เกณฑ์ที่ 5
7. เต่าร้าง		✓	✓	✓	✓
8. หว้า	✓	✓	✓		✓
9. ลำพูป่า			✓		
10. ตองเต้า		✓			

ความเสื่อมโทรมทางสิ่งแวดล้อมจึงทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ป่าที่เหลืออยู่ก็ขาดความต่อเนื่องกัน กลายเป็นป่าผืนเล็กผืนน้อย กระจัดกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศ ส่งผลต่อการเสียสมดุลของระบบนิเวศน์ในภาพรวม ซึ่งนโยบายป่าไม้แห่งชาติ ระบุว่าพื้นที่ป่าที่เหมาะสมกับประเทศไทยต้องมีพื้นที่ครอบคลุมประมาณ 40% ของพื้นที่ (กรมป่าไม้ 2559ค) ปัจจุบันประเทศไทยจึงมีพื้นที่ป่าต่ำกว่าเป้าหมายอยู่ 8.40% หรือ คิดเป็นพื้นที่ป่าที่ 26,964,000.00 ไร่

การขาดความเชื่อมต่อของป่าที่เหลืออยู่ในประเทศไทย ผนวกกับเนื้อที่ป่าที่เหลืออยู่ต่ำกว่าเป้าหมาย ส่งผลต่อสภาพแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ ป่าไม้ ของประเทศ เกิดภาวะภัยแล้ง น้ำท่วม ตามมาทุกปี ได้สร้างความเสียหายกับประเทศอย่างใหญ่หลวง โดยเฉพาะน้ำท่วมใหญ่ปี พ.ศ. 2554 ธนาคารโลกประมาณความเสียหายจากน้ำท่วมในประเทศไทย คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1.356 ล้านล้านบาท (ไทยพับลิก้า 2554) ในขณะที่ภัยแล้งก็ซ้ำเติมส่งผลต่อเศรษฐกิจของประเทศด้วยเช่นกัน ศูนย์วิจัยกสิกรไทย ประมาณว่าภัยแล้งในปี พ.ศ. 2559 สร้างความสูญเสียต่อรายได้เกษตรกรกว่า 64,161 ล้านบาท (ฐานเศรษฐกิจ2559) เหล่านี้ล้วนเป็นผลต่อเนื่องจากการเสียสมดุลของระบบนิเวศน์ในประเทศไทย จากการสูญเสียป่าทั้งสิ้น

นักวิทยาศาสตร์ได้ตระหนักถึงภาวการณ์การสูญเสียพื้นป่าของประเทศต่างๆ ที่ส่งผลต่อระบบเศรษฐกิจของโลก โดยเฉพาะมาตรการจัดการพื้นที่ป่าที่เหลืออยู่ให้เกิดประโยชน์ทางนิเวศน์มากที่สุด

ในช่วงทศวรรษที่ 2520 นักนิเวศวิทยาได้ระดมความคิดในการหารูปแบบที่เหมาะสมของพื้นที่ต่อการอนุรักษ์ ภายหลังจากที่ป่าเขตร้อนทั่วโลกถูกทำลายลงอย่างหนักจากการทำเกษตรอุตสาหกรรม เมื่อมีการขยายพื้นที่เกษตรกรรม ทำให้ป่าที่เคยเป็นป่าผืนใหญ่ ถูกแบ่งซอยเป็นหย่อมเล็กหย่อมน้อย (Fragmentation) บางแห่งไม่สามารถที่จะรักษาสภาพป่าไว้ได้ แม้จะมีมาตรการทางกฎหมายคุ้มครอง นักนิเวศน์ได้เสนอแนวคิด SLOSS (Simberloff and Abele, 1976, 1982) ซึ่งย่อมาจาก Single Large Or Several Small แนวคิดนี้พยายามที่จะหารูปแบบป่าที่สามารถรักษาความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ที่เคยเป็นป่าใหญ่ ให้คงอยู่เมื่อป่าถูกแบ่งออกเป็นป่าผืนเล็กผืนน้อยอย่างกระจัดกระจาย ซึ่งพบว่าเส้นรอบรูปต่อพื้นที่ป่ามีความสำคัญในการรักษาระบบให้ถูกรบกวนจากภายนอกน้อยที่สุด กล่าวคือ ป่าที่มีเนื้อที่เท่ากัน ผืนป่าที่มีเส้นรอบรูปยาว ย่อมได้รับผลกระทบจากภัยคุกคามภายนอกมากกว่าป่าที่มีเส้นรอบรูปสั้น หรือป่าที่มีลักษณะเป็นรูปวงกลม หรือรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สามารถรักษาระบบได้ดีกว่าป่าที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งเส้นรอบรูปป่ายิ่งยาวแสดงว่าผืนป่ายิ่งสัมผัสกับพื้นที่โล่งมาก ความชื้นจากในป่ามีโอกาสที่จะไหลออกจากป่ามากกว่าป่าที่มีส่วนที่สัมผัสกับพื้นที่โล่งน้อย

ในปัจจุบันท่ามกลางสภาวการณ์ที่ป่าผืนใหญ่ (Single Large) ที่เคยมีความสมบูรณ์ มีอิทธิพลมากในการรักษาสมดุลของระบบนิเวศน์ ทั้งทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ ลม ฝน ป่า ให้มีความสมดุลตามที่เคยเป็นมาในอดีตนั้นลดลงเป็นจำนวนมาก ป่าผืนใหญ่ถูกตัดแบ่งออกด้วย ชุมชน ถนน แนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ถูกเปลี่ยนสภาพเป็นที่อยู่อาศัย พื้นที่ทำกิน พื้นที่การเกษตร มีโอกาสน้อยที่จะเปลี่ยนสภาพเหล่านั้นให้ป่าเชื่อมต่อกัน โดยมีพื้นที่กลับมาเป็นป่าผืนเดียวกัน

เป็นเหตุให้ป่าผืนเล็กที่เหลืออยู่อย่างกระจัดกระจาย (Several Small) ยังคงเผชิญภัยคุกคามและมีโอกาสเสื่อมสภาพไปสู่ "จุดพลิกผัน" (tipping point) เกิดการยืนต้นตายได้ ดังนั้นป่าผืนเล็ก ที่ไม่มีความสมบูรณ์ถึงระดับพัฒนาการสูงสุด (Climax stages) จึงเป็นเป้าหมายของการพัฒนาเพื่อให้คงความสมบูรณ์ ส่งผลต่อระบบนิเวศน์มากที่สุด

มูลนิธิสืบนาคะเสถียร (2559) ได้จัดป่าที่เหลืออยู่ในปัจจุบันของประเทศไทย ออกได้เป็น 20 กลุ่มป่า โดยป่าของจังหวัดลำปาง อยู่ในพื้นที่กลุ่มป่าศรีลานนา ร่วมกับป่าในจังหวัดเชียงราย ลำพูน พะเยา ที่ปัจจุบันป่ากลุ่มนี้มีพื้นที่รวมกันทั้งสิ้น 4,324,630.25 ไร่ หรือ 6,919 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 19.74% ของพื้นที่ทั้ง 4 จังหวัดรวมกันที่มีประมาณ 35,053.27 ตารางกิโลเมตร (วิกิพีเดีย ,2559) จึงต่ำกว่านโยบายป่าไม้แห่งชาติของไทย การที่จะทำให้พื้นที่ป่าเพิ่มขึ้นถึง 40% ตามที่กำหนดไว้ เป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้อย่างสิ้นเชิง เพราะต้องการพื้นที่ป่าอีกถึง 4.4 ล้านไร่

เมื่อไม่สามารถที่จะทำให้มีพื้นที่ป่าให้ได้ตามเป้าหมายในสถานการณ์ปัจจุบัน สิ่งที่ดำเนินการได้ทันทีคือการพัฒนาป่าที่เหลืออยู่ ในมีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยการที่มนุษย์เข้าไปช่วยจัดการ ซึ่งจะเป็นการเร่งการพัฒนาให้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้เป็นไปตามกลไกของธรรมชาติ

การพัฒนาป่าที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน มีรูปแบบที่ดำเนินการในทิศทางเดียวกันคือการปลูกเสริม การทำฝายดักตะกอน การทำแนวป้องกันไฟป่า ฯ

การปลูกป่ารัฐบาลให้งบประมาณในการดูแลหลังจากการปลูกต่อไปอีก 9 ปี รวมระยะเวลาในการปลูกป่าสร้างสวนป่า 10 ปีแสดงนัยว่าไม้ที่ปลูกฟื้นฟูธรรมชาตินั้นเมื่อมีอายุ 10 ปี ต้นไม้สามารถที่จะดูแลตัวเอง ทำหน้าที่ทางนิเวศน์ให้ระบบของป่าที่ถูกฟื้นฟูขึ้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องยังคงกิจกรรมต่างๆไว้เหมือนเดิม

ในพื้นที่ป่าชุมชนทั้ง 4 แห่งที่ศึกษา พบว่า มีป่า 2 แห่งคือบ้านสาสบหก และบ้านสามขา ที่ป่ามีสภาพเป็นป่าธรรมชาติคือต้นไม้มีอายุเกินภาวะที่ต้องการการดูแลจากชุมชน แต่ในความเป็นจริงแล้วป่าทั้ง 2 แห่งยังคงต้องได้รับการฟื้นฟูดูแลจากชุมชนโดยเฉพาะไฟป่าที่ลามเข้าไปในพื้นที่ แสดงว่าความชื้นและเชื้อเพลิงยังไม่อยู่ในขั้นที่จะระงับหรือชะลอการลามของไฟป่าได้ ทั้งนี้หากดูการฟื้นฟูป่าที่ผ่านมาทั้ง 4 พื้นที่ พบว่า พรรณไม้ที่นำไปปรับปรุงพื้นที่นั้น เป็นพันธุ์ไม้ที่เอื้อต่อการเกิดไฟป่า (ตารางที่1) คือทิ้งใบในช่วงฤดูแล้ง จึงเท่ากับเป็นการเติมเชื้อเพลิงให้กับป่า ทำให้ไฟป่าทวีความรุนแรงขึ้น ในแนวทางการฟื้นฟูป่าที่นำเสนอในการศึกษาครั้งนี้เป็นการใช้ไม้ที่มีใบเขียวตลอดทั้งปี ในการปรับปรุงป่า คือเต่าร้าง มะม่วงป่า หว้า และยางนา ไม้เหล่านี้นอกจากจะไม่ช่วยเพิ่มเชื้อเพลิงให้กับระบบแล้ว ยังใช้แสงอาทิตย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการดำรงชีวิตจากขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และช่วยชะลอการสูญเสียความชื้นในดิน จากการสกัดกั้นแสงอาทิตย์ของใบไม้สีเขียว จึงเปรียบเสมือนทำหน้าที่เป็นร่มให้กับป่าต่างกันอย่างสิ้นเชิง กับพรรณไม้ที่มีอยู่เดิม ที่ต่างพากันทิ้งใบในหน้าแล้ง ปล่อยให้แสงส่องถึงพื้นดิน ส่งผลลูกโซ่ต่อเนื่องไปถึงความชื้นในดินสูญเสียเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วแนวทางการปลูกไม้ใบเขียวทั้งปีนี้ ยังช่วยยืดระยะเวลาการทิ้งใบของพรรณไม้ในป่าเดิมออกไปอีกด้วย อันเป็นผลมาจากความชื้นของป่าที่เพิ่มขึ้นจากการกักเก็บความชื้นและลดการแผดเผาพื้นดินจากแสงแดดที่ถูกใบไม้สีเขียวที่ปลูก นำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง และเมื่อรวมกับการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ จึงทำให้สภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งบรรเทาความรุนแรงลง หากป่าผืนเล็กที่กระจัดกระจายอยู่ตามพื้นที่ต่างๆ ได้รับการพัฒนาไปในทิศทางเดียวกันนี้ ย่อมส่งผลต่อองค์รวมของระบบในภาพใหญ่ เช่นเดียวกับผืนป่าที่มีพื้นที่กว้างใหญ่

นอกจากนี้ เมื่อดินสามารถกักเก็บความชื้นไว้ได้จากการแผดเผาของแสงที่ถูกสกัดกั้นไว้โดยไม้ใบเขียวในช่วงฤดูแล้ง ส่งผลให้ต้นไม้ดั้งเดิม มีช่วงระยะเวลาในการเจริญเติบโตยาวขึ้นสามารถกักเก็บคาร์บอนได้มากขึ้น กล่าวคือ ในผืนป่า ที่โครงสร้างของป่าไม่สามารถสกัดกั้นแสงไว้ที่เรือนยอดได้ แสงย่อมลอดทะลุผ่านถึง

ผิวดินในป่า ทำให้ดินสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็ว ต้นไม้ผลัดใบย่อมได้รับผลกระทบพากันทิ้งใบ หยุดการเจริญเติบโตไปด้วย หากป่ามีโครงสร้างที่สามารถรองรับและใช้ประโยชน์จากแสงแดดที่ส่องทุกวัน ความชื้นในดินจะสูญเสียน้อยลง ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ คือต้นไม้ทิ้งใบช้าลง เท่ากับพลังงานแสงอาทิตย์ถูกใช้โดยพืชมากขึ้น ความร้อน แล้งก็จะลดลง ในภาพรวม ดังนั้น การเพิ่มพืชที่ใบมีสีเขียวตลอดทั้งปีในป่าชุมชนจึงเป็นหัวใจสำคัญของแนวทางเร่งการฟื้นฟูป่าวิธีนี้ ที่อาศัยหลักการใช้ระบบโครงสร้างของ “รากไม้ลากน้ำ” ขึ้นเขา

รากไม้ลากน้ำ เป็นการประสานการใช้ระบบเครือข่ายรากฝอยและใบสีเขียวของไม้ในการควบคุมความชื้นของป่า โดยรากมีประสิทธิภาพในการเสาะหาน้ำและความชื้นทั้งในแนวตั้งและแนวนอนของพื้นดิน แล้วลำเลียงขึ้นไปยังใบไม้ ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับแสง และคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง

แต่ละปีในแถบเส้นศูนย์สูตร แสงมีปริมาณค่อนข้างคงที่ แต่น้ำในดินมีการผันแปรอย่างเด่นชัดช่วงฤดูแล้ง รากของพืชบางชนิดไม่สามารถหาน้ำได้ทันความต้องการของใบ พืชจึงจำเป็นต้องสลัดใบทิ้ง ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ช่วงเวลาการทิ้งใบของพืชผลัดจึงขึ้นอยู่กับความชื้นในดิน ซึ่งอิงอยู่กับปริมาณน้ำในฤดูฝน ลักษณะและองค์ประกอบของดิน สิ่งปกคลุมดิน ความโปร่ง (vertical density) และความโล่ง (horizontal density) ของป่า

ทั้งต้นเต่าร้าง หว้า มะม่วงป่า และยางนา ล้วนเป็นพืชไม่ผลัดใบที่เคยพบในพื้นที่ การนำกลับเข้าไปปลูกเสริม จึงเป็นการใช้ระบบรากฝอยของพืชโครงสร้างป่าทั้ง 4 ชนิดนี้ ในการเสาะหาน้ำแล้วลำเลียงขึ้นสู่ใบเพื่อการสังเคราะห์แสงต่อไป ซึ่งใบเขียวของพืชนอกจากจะสกัดกั้นแสงแดดไม่ให้ส่องถึงพื้นป่าแล้ว ยังเป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ที่มี เนื้อไม้ และออกซิเจน เป็นผลผลิตที่ตามมา

นอกจากนี้ ไม้ทั้ง 4 ชนิด ดังกล่าว มีลักษณะและความสำคัญดังนี้

1) เต่าร้างหรือมะมื่อ ในภาษาล้านนา (*Caryotamitis*Lour.) เป็นพืชในวงศ์ Palmae เป็นปาล์มต้นเดี่ยว ขนาดใหญ่ ไม่มีหนาม สูง 3-12 เมตร ชอบขึ้นในบริเวณที่มีความชุ่มชื้นสูง ช่อดอกปาดเอาน้ำหวานมาผลิตน้ำตาลได้ ใบใช้มุงหลังคา ทำเชือก ยอดอ่อนต้มรับประทานได้ สรรพคุณทางยา ราก และหัวของเต่าร้างต้มดื่ม ให้รสหวานเย็นขม ช่วยแก้อาการช้ำใน แก้ตับทรุด แก้ม้ามพิการ รวมทั้งแก้โรคหัวใจพิการ แก้กาฬขึ้นปอด และช่วยดับพิษดับปอด (www.เกร็ดความรู้.net/เต่าร้าง) เมล็ดเป็นอาหารของสัตว์ในตระกูล กระรอก กระรอกบิน ชะมด-อีเห็น ลำต้นมีฐานโคบอล ที่จำเป็นสำหรับสัตว์กินพืชพวก เก้ง กวางฯ

2) มะม่วงป่า (*Mangiferacaloneura*Kurz.) เป็นต้นไม้ขนาดกลาง-ใหญ่ สูง 20-30 เมตร ไม่ผลัดใบหรือผลัดใบระยะสั้น พบในป่าดิบ และป่าดิบแล้ง และที่ราบสูง ที่ความสูงไม่เกิน 400 เมตร จากระดับน้ำทะเล ผลแก่ใช้รับประทานได้ ผลอ่อนมีวิตามินซี ผลสุก ต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันมะเร็ง และต้านความชรา ใบอ่อนใช้เป็นผักสด ประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรต เส้นใย โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 ไนอาซิน วิตามินซี นอกจากนี้แล้วในผลสุกยังมีเบต้าแคโรทีนสูง เนื้อในเมล็ดและเปลือกต้นมีสารพวกแทนนิน มีสรรพคุณในการใช้แก้ท้องร่วง ผลเป็นอาหารของลิง กระรอก กระแต หนู ชะมด-อีเห็น (วัดป่าสันติสุขญาณสัมปันโน, 2557)

3) หว้า (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) เป็นไม้ยืนต้น ไม่ผลัดใบหรือผลัดใบระยะสั้นลำต้นสูง 10-35 เมตร พบทั่วไปตามป่าดิบชื้นและป่าผลัดใบ ตั้งแต่ระดับใกล้น้ำทะเลจนถึงระดับความสูง 1,100 เมตร ผลกินได้ เปลือกต้นต้มน้ำดื่มแก้บิด ผลดิบ แก้ท้องเสีย ผลสุกรับประทานได้ ใช้ทำเครื่องดื่ม สามารถนำไปทำน้ำผลไม้ไวน์เป็นเครื่องดื่มที่ให้สีม่วงเมล็ด มีสารช่วยลดน้ำตาลในเลือด แก้ท้องเสีย เปลือกต้นใช้ย้อมผ้าได้สีม่วงผลสุก

เป็นอาหารของนกหลากหลายชนิด กระรอก กระรอกบิน กระแต ค้างคาวกินพืช (MedThai, 2556)

4) ยางนา (*Dipterocarpusalatus*Roxb. Ex) เป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบหรือผลัดใบระยะสั้นขนาดใหญ่ มีความสูงของต้นได้ถึง 50 เมตร เรือนยอดเป็นพุ่มกลมทึบ โคนต้นมักเป็นพูพอน ชอบดินที่มีอินทรียวัตถุค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ ความชื้นปานกลาง และแสงแดดแบบเต็มวัน (หลังต้นอายุ 1 ปี) ขึ้นในดงดิบ ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง ป่าดิบชื้น ตามที่ต่ำชุ่มชื้นใกล้แม่น้ำ ลำธารทั่วไป และตามหุบเขาทั่วทุกภาคของประเทศ ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 50-400 เมตร ตำรายาไทยจะใช้น้ำต้มจากเปลือกเป็นยาบำรุงร่างกาย ฟอกเลือด บำรุงโลหิต แก้ตับอักเสบ (MedThai, 2558)

อย่างไรก็ตาม พรรณไม้ทั้ง 4 ชนิดที่เสนอในการศึกษา เหมาะสำหรับพื้นที่ป่าของจังหวัดลำปางเท่านั้น ในพื้นที่จังหวัดอื่น หากมีการนำแนวทางนี้ไปใช้ต้องพิจารณาพรรณไม้ในการที่จะนำมาปลูกฟื้นฟูให้เข้ากับพื้นที่นั้นด้วย

หลักการหรือแนวคิดการฟื้นฟูป่าต้นน้ำลำธาร ที่เสนอโดย พงษ์ศักดิ์ และคณะ (2556) กล่าวว่าระยะ10 ปี หลังการฟื้นฟูด้วยการทำฝาย ดับไฟ ป่าจะฟื้นคืนอยู่ในระดับที่มีความชุ่มชื้น ให้น้ำกับระบบได้ แต่ยังมิใช่ป่าที่ทำหน้าที่อย่างสมบูรณ์ (Climax stages) ซึ่งหากจะให้ป่าพัฒนาไปถึงป่าดั้งเดิมที่ทำหน้าที่อย่างสมบูรณ์ ต้องใช้เวลาอีก 100 ปี เพราะการที่ไม้ดั้งเดิมที่จะกลับเข้ามาเจริญเติบโตในพื้นที่ต้องอาศัยทั้ง สัตว์ป่า ลม และน้ำ ในการนำพาเมล็ดพันธุ์ จากพื้นที่แหล่งกำเนิดข้างเคียง แต่ในแนวทางที่เสนอนี้ เป็นการนำพืชดั้งเดิมเข้าไปโดยการปลูกเสริม เป็นการทำหน้าที่ช่วยกระจายเมล็ดไม้แทนสัตว์ป่า ลม และน้ำ จึงช่วยย่นระยะเวลาในพัฒนาการของป่าธรรมชาติ ซึ่งหลังจากที่นำพืชทั้ง 4 ชนิดเข้าไปเพื่อการฟื้นฟูนั้นอีก 3 ปี ไม้ที่นำไปปลูกจะเริ่มออกดอกออกผลขยายพันธุ์ตามธรรมชาติต่อไปและหลังปีที่ 6 อัตราการขยายพันธุ์ จะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ

ดังนั้น หากสามารถพัฒนาให้ป่าผืนเล็กที่กระจัดกระจายอยู่ตามพื้นที่ต่างๆ เช่นป่าชุมชนของทั้ง 4 หมู่บ้านให้สามารถยืนหยัดรักษาระบบในการฟื้นฟู ดูแลตนเองได้ โดยไม่ต้องพึ่งพาชุมชน ก็จะช่วยให้การรักษาระบบนิเวศในภาพรวมมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นอัน เนื่องมาจากอิทธิพลในการรักษาสมดุลของระบบนิเวศจากป่าผืนเล็กแต่ละผืนที่ยังเหลืออยู่

7. สรุป

การวิจัยการพัฒนาแนวทางการฟื้นฟูความชุ่มชื้นในป่าชุมชน 4 แห่งคือ ชุมชนบ้านสามขา ชุมชนบ้านสาสบหก ชุมชนบ้านต้นต้อง และชุมชนบ้านไร่ศิลาทอง ซึ่งเป็นพื้นที่ป่ารอบบริเวณวัดม่อนพญาแช่ มีวิธีทำคล้ายคลึงกัน โดยเริ่มจากการปลุกจิตสำนึกให้เกิดความรักและต้องการที่จะฟื้นฟูความชุ่มชื้นในป่าป้องกันป่าไม้จากการถูกลักลอบตัดและจุดไฟเผาเพื่อหาของป่าเติมความชุ่มชื้นด้วยการสร้างฝายชะลอน้ำ และปลูกต้นไม้เสริม พบว่า แม้สภาพป่าจะดีขึ้นแต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อการหยุดยั้งการลามของไฟที่ชาวบ้านใช้ในการช่วยขยายพื้นที่ทำการเกษตรหรือวัตถุประสงค์ส่วนตัวได้การศึกษานี้จึงได้นำเสนอแนวคิดเรื่องการเพิ่มพันธุ์พืชไม้อายุยืน ที่มีใบสีเขียวตลอดทั้งปีที่เคยพบอยู่ในพื้นที่ป่าชุมชนหรือพื้นที่บริเวณใกล้เคียงให้กับพื้นที่ป่า ด้วยไม้ 4 ชนิดที่ คือ เต่าร้าง มะม่วงป่า หว้า และยางนา ซึ่งจะช่วยบดบังแสงแดด ปกป้องความชุ่มชื้นให้กับป่าด้วยปริมาณใบไม้สีเขียวในหมู่ชั้นเรือนยอด และใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดจากขบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้พันธุ์ไม้ทั้ง 4 ชนิดยังเป็นอาหารมีประโยชน์ต่อคนและสัตว์ป่าอีกด้วยดังนั้น จึงควรที่จะมีการปลูกไม้ไม่ผลัดใบเพิ่มลงในพื้นที่ป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง เพื่อช่วยรักษาความชื้นในป่า และควรศึกษาเปรียบเทียบระยะเวลาการทิ้งใบของไม้ผลัดใบในป่าที่มีการฟื้นฟูป่าด้วยรูปแบบรากไม้ลากน้ำกับป่าที่ฟื้นฟูด้วยวิธีการดั้งเดิม เพื่อหามาตรการฟื้นฟูที่เหมาะสมต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากการสนับสนุนของบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ โดยเฉพาะผู้นำชุมชน ปราชญ์อาวุโสใน

ชุมชนของทั้ง 4 หมู่บ้านที่ให้ข้อมูลการฟื้นฟูสภาพป่า ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายภานุเทพวงศ์วาร ผู้อำนวยการสำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 13 (สาขาลำปาง) ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ แนวทางการทำวิจัย นายไสว วังหงษา นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ ที่ช่วยวิเคราะห์ ปรับปรุงวิธีการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณนักพฤกษศาสตร์ของสวนรุกขชาติพระบาท สวนรุกขชาติห้างฉัตร ที่ร่วมสำรวจพื้นที่และให้ข้อมูลด้านพรรณพฤกษชาติในพื้นที่ทั้ง 4 หมู่บ้าน

9. เอกสารอ้างอิง

กรมป่าไม้. (2555).**ความหมายของป่าชุมชน** [ออนไลน์] ได้จาก :www.forest.go.th/index.php?option=com_docman&task=doc

กรมป่าไม้. (2559ก). **นโยบายป่าไม้แห่งชาติ.**[ออนไลน์] ได้จาก : http://www.forest.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=304&Itemid=413

กรมป่าไม้. (2559ข). **ข้อมูลสารสนเทศป่าไม้** [ออนไลน์]ได้จาก :http://forestinfo.forest.go.th/55/Content.aspx?id=151

กรมป่าไม้. (2559ค). **ข้อมูลสารสนเทศป่าไม้.**[ออนไลน์] ได้จาก :http://forestinfo.forest.go.th/55/Content.aspx?id=72

ขวัญนภา สุขคร.(2552). **ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการจัดทำฝายชะลอน้ำ กรณีตัวอย่าง ชุมชนบ้านกิ่วท่ากลาง-ท่าใต้ ตำบลบ้านกิ่ว อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง.** ลำปาง :ปริญญานิพนธ์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ศูนย์การศึกษานอกที่ตั้งลำปาง.

จิดาภา จำปา. (2553). **การจัดการทรัพยากรน้ำบ้านสามขา**. ขอนแก่น : ปริญญานิพนธ์ รัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฐานเศรษฐกิจ.(2559). **วิกฤติภัยแล้งหนักสุดปี 2559 ผ่านพ้น: เริ่มมีสัญญาณบวกให้เห็น จับตาน้ำแล้งหน้า** [ออนไลน์]ได้จาก :http://www.thansettakij.com/2016/06/27/65734

ไทยพับลิก้า. (2554). **วิกฤตน้ำท่วม 2554.** [ออนไลน์]ได้จาก :http://thaipublica.org/2011/12/world-bank-flood-damage

พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุลและคณะ.(2556).**ป่าต้นน้ำ.** กรุงเทพฯ : ส่วนวิจัยต้นน้ำสำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช.

พระประมวล บุตรดี.(2552). **การดำเนินกิจกรรมด้านความรับผิดชอบต่อสังคมขององค์กรธุรกิจกับการพัฒนาชุมชน: กรณีศึกษาฝายชะลอน้ำ ชุมชนสาสบหก จังหวัดลำปาง**. กรุงเทพฯ : ปริญญานิพนธ์ พัฒนาชุมชนมหาบัณฑิต ภาควิชาการพัฒนาชุมชน คณะสังคมสะเคราะห์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรพิมล ชำรัมย์.(2546). **การจัดการป่าชุมชนในฐานะที่เป็นทรัพยากรวัฒนธรรม กรณีศึกษา: บ้านสามขา หมู่ที่ 6 ต.หัวเสือ อ.แม่ทะ จ.ลำปาง.**นครปฐม : วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรวัฒนธรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

มูลนิธิสืบนาคะเสถียร. (2559). **กลุ่มป่าที่สำคัญในประเทศไทย**[ออนไลน์] ได้จาก : http://www.seub.or.th/index.php

รตยา จันทรเทียร. **(2554). พ.ร.บ. ป่าชุมชน**[ออนไลน์] ได้จาก : http://www.seub.or.th/index.php

วัดป่าสันติสุขญาณสัมปันโน. (2557). **โครงการพามะม่วงป่ากลับคืนสู่ผืนป่าชุมชน**[ออนไลน์] ได้จาก : https://www.facebook.com/permalink.php?id=659730407413662&story_fbid=710961522290550

วีกิพีเดีย.(2559). รายชื่อจังหวัดในประเทศไทยเรียงตามพื้นที่. [ออนไลน์]ได้จาก :https://th.wikipedia.org/wiki

สหัทยา วิเศษ. (2540). **ภูมิปัญญาชาวบ้านในการอนุรักษ์และฟื้นฟูป่าต้นน้ำ ศึกษาเฉพาะกรณีกลุ่มฮัก ศรีถ้อย ตำบลศรีถ้อย อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา**. กรุงเทพฯ: ปริญญานิพนธ์ พัฒนาชุมชนมหาบัณฑิต คณะสังคมสงเคราะห์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

MedThai. 2556. **หว้า สรรพคุณและประโยชน์ของลูกหว้า 23 ข้อ** [ออนไลน์]ได้จาก :http://www.MedThai.com/หว้า

MedThai. 2558. **ยางนา สรรพคุณและประโยชน์ของยางนา 27 ข้อ** [ออนไลน์]ได้จาก :http://www.MedThai.com/ยางนา

Simberloff, D.S., Abele, L.G., (1976). Island biogeography theory and conservation practice. **Science**191: 285–286.

Simberloff, D., Abele, L.G., (1982). Refuge design and island biogeographic theory: effects of fragmentation. **AmericanNaturalist**120 : 41–50.

การจัดการพลังงานชุมชนโดยบูรณาการหน่วยงานรัฐกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษา : ตำบลดงเมือง อำเภอยางสีสุราช จังหวัดมหาสารคาม

Energy management in community by integrated state agency and solar drying system. Casestudy : Dong mueng Sub-district, Yang Sisurat District, Mahasarakham Province.

ปรีชา ศรีประภาคาร

Preecha Sriprapakhan

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

Email : sriprapakhan@hotmail.com โทรศัพท์ 043 754321 ต่อ1118 โทรสาร 043 754247

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการจัดการพลังงานในชุมชนโดยใช้วิธีการบูรณาการหน่วยงานภาครัฐร่วมกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า มีหน่วยงานภาครัฐจำนวน 7 หน่วยงานที่ได้ร่วมกันทำงาน โดยร่วมกันกำหนดกลยุทธ์การแก้ไขปัญหาและให้สอดคล้องกับพันธะกิจของหน่วยงานตัวเอง รวมไปถึงการประชุมเพื่อทำแผนการดำเนินงานร่วมกันขึ้นจากการดำเนินงานดังกล่าวชุมชนได้รับงบประมาณสนับสนุนการสร้างห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาจากกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดพื้นที่ 48 ตารางเมตร สามารถอบผลิตภัณฑ์ได้ 4500 กิโลกรัม/วัน ระยะเวลาในการอบแห้ง8 ชั่วโมง จากการทดสอบที่ค่ารังสีแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ย 692 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 44.2องศาเซลเซียส ได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน12 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้66,000 บาท/ปี ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นระยะเวลาคืนทุน 7.2 ปี

Abstract

This study is an energy management in community by using integration of seven government agencies working together by promote renewable energy technologies using solar drying system . The meetings were used to plan joint operations up and put strategy to resolve the issue in line with the mission of the agency.The communities was receive funding to build a solar drying room from the encon-fund. The solar drying area is 48 square meters and the weight 4,500 kg per day were tested. The drying period of testing is 8 hours. The average solar radiation of 692 watts per square meter.The ambient temperatures average is 35 degrees celsius. Drying room temperature average is 44.2 degrees celsius on the thermal efficiency of 12.6 percent, representing a savings of 66,000 baht per year give the payback period is 7.2 years.

คำสำคัญ : ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ชุมชน, การบูรณาการ

Keywords : Solar drying system, communities, integrated

1. บทนำ

ชุมชนตำบลหนองบัวสันตุอำเภอยางสีสุราช จังหวัดมหาสารคาม เป็นกลุ่มวิสาหกิจที่ประกอบการทำถ่านอัดแท่ง โดยการทำถ่านยังเป็นกระบวนทำแบบเก่าอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ทันสมัย เป็นการประยุกต์ใช้ทรัพยากรที่มีมาทำการดัดแปลงและผลิตไปเรื่อยๆตามจำนวนที่สั่งจากลูกค้าเท่านั้น จากการสำรวจพบ ชุมชนได้ทำถ่านอัดแท่งโดยใช้เศษถ่านที่ซื้อมาจากเอกชนภายนอก และมาทำการบดให้เป็นผงโดยใช้มอเตอร์ โดยมีผสมส่วนในอัตราส่วน ผงถ่านบดละเอียด:น้ำแป้งมัน เป็น7:3 กระบวนการขึ้นรูปถ่านใช้สกรูมอเตอร์ และนำไปอบแห้งในห้องอบซึ่งผนังทำจากอิฐบล๊อก มีหลังคาสังกะสี กระบวนการให้ความร้อนได้จากการนำเศษถ่านมาจุดไฟเผาในเตาถ่าน และนำเข้าไปวางด้านล่างของชั้น

ตากที่อยู่ในห้องอบแห้ง พบว่าชุมชนมีต้นทุนพลังงานที่สูงคือ 3,200 บาทต่อรอบการอบแห้งจำนวน3 วัน แต่ได้ถ่านอัดแท่งจำนวนจำกัด และยังพบว่าที่ผ่านมาชุมชนไม่เคยมีหน่วยงานภาครัฐใดๆเข้าไปดูแล ส่งเสริม ให้ความรู้ ให้ความช่วยเหลือเลยทำให้ชุมชนมีการทำงานไปได้อย่างช้า ต้นทุนการผลิตสูง ประสิทธิภาพระบบการทำงานต่ำ ซึ่งสวนทางกับนโยบายการพัฒนาประเทศที่มุ่งเน้นในการพัฒนาและเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนให้มากขึ้น ตามแผน AEDP 2015 ที่ต้องการพัฒนาการนำพลังงานทดแทนมาผลิตความร้อนให้มีสัดส่วนมากขึ้นเป็น 19.2 เปอร์เซ็นต์ในปี พ.ศ.2579 ประกอบกับนโยบายในการพัฒนาการทำงานของหน่วยงานในภาครัฐมุ่งเน้นในการให้มีการทำงานแบบบูรณาการร่วมกันระหว่างหน่วยงาน และส่งเสริมกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ชุมชนให้สามารถแข่งขันในเวทีการค้าขายให้ได้มากขึ้นกว่าที่เป็นอยู่

ดังนั้น เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาชุมชน และส่งเสริมการจัดการพลังงานชุมชน ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการเลือกพื้นที่ดังกล่าวมาทำเป็นกรณีศึกษาในการบูรณาการหน่วยงานภาครัฐมาร่วมกันด้านทำงานแก้ปัญหาและใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนเข้ามาเป็นเครื่องมือ เพื่อให้มีการขับเคลื่อนต่อชุมชน/กลุ่มวิสาหกิจ ให้เกิดประสิทธิภาพและได้ประสิทธิผลสูงสุดต่อการพัฒนาพลังงานชุมชนให้สอดรับกับแผนพัฒนาพลังงานของประเทศ และสามารถแข่งขันด้านการค้า มีความเข้มแข็งของชุมชนต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 ศึกษาวิธีการจัดการปัญหาพลังงานชุมชนโดยการบูรณาการหน่วยงานรัฐกับเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสม

2.2 ส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อใช้ประโยชน์ในชุมชน

3. วรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

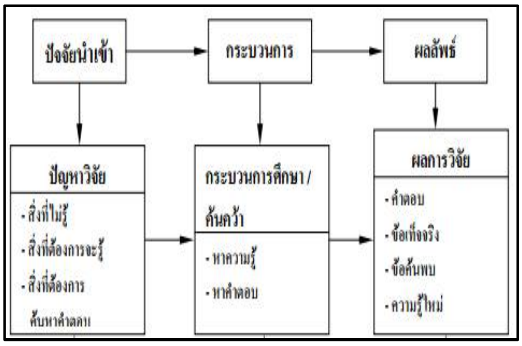
การพัฒนาโดยกระบวนการบูรณาการต้องได้รับความร่วมมือของหลายภาคส่วนจึงจะเรียกว่าเป็นวิธีการบูรณาการ โดยแต่ละภาคส่วนต้องรู้หน้าที่ของตนในความรับผิดชอบ การวิจัยและพัฒนาโดยการบูรณาการจึงเป็นการปฏิรูปชนิดหนึ่งเพื่อให้เกิดมิติการทำงานแบบใหม่ขึ้นในการทำงานวิจัย และพัฒนาทุกอย่างต้องมีเครื่องมือที่ใช้ร่วมกัน เช่นด้านองค์ความรู้ด้าน[1] การอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ การพัฒนาระบบเครื่องอบแห้งที่มีการศึกษามาในด้านการพัฒนาให้เกิดการใช้พลังงานในการอบแห้งให้คุ้มค่ามากที่สุด เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้มีลักษณะ และรูปแบบที่แตกต่างกัน [2] เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมเป็นเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมแก่การอบแห้ง โดยได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยตรง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก ใช้หลักการเรือนกระจก (Greenhouse effect) เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ส่งผ่านกระจกหรือพลาสติกเข้าไปภายใน จะถูกผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบต่างๆ ภายในเรือนกระจกดูดกลืนรังสีแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อนเหมาะสมกบการอบแห้ง และมีพัดลมไฟฟ้าดูดอากาศจากแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ออกแบบให้เหมาะสำหรบการอบแห้ง และมีประสิทธิภาพสูง [3]

3.1 การบูรณาการ (Integrated)

การบูรณาการ หมายถึง การนำองค์ประกอบสำคัญ และมีบทบาทที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับปัญหามาผสมผสานเชื่อมโยงเข้าด้วยกันเป็นองค์รวมใหม่อย่างมีความหมายเพื่อให้การดำเนินงานเกิดผลสัมฤทธิ์อย่างมีประสิทธิผล ประสิทธิภาพเกิดการแก้ไขปัญหาและได้ประโยชน์สูงสุดต่อชุมชน/วิสาหกิจชุมชน[4]

3.2 การจัดการบริหารแบบบูรณาการ

การจัดการบริหารแบบบูรณาการ (Integrated Management System) หมายถึงชุดขององค์ประกอบย่อยที่เกี่ยวข้อง และจำเป็นต่อการแก้ปัญหาและดำเนินงานให้เกิดการจัดหน้าที่ประสบการณ์ต่างๆ ที่สัมพันธ์กันผสมผสานเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ การทำงานแบบองค์รวม สอดคล้องกับปัญหา ความต้องการและวิถีชีวิตของเป้าหมาย โดยมุ่งเน้นการดำเนินงานอย่างมีเป้าหมายที่เกี่ยวเนื่องเชื่อมโยงกับปัจจัยนำเข้า (Input) กระบวนการ(Process) และผลลัพธ์(Product)ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบการจัดการบริหารแบบบูรณาการ

การดำเนินการดังกล่าวเรียกว่า หลัก “MSPA” ซึ่งมี 4 หัวข้อหลัก ดังนี้

1. การระดมทรัพยากร (Mobilization) หมายถึง การแสวงหาบุคลากร งบประมาณ ทรัพยากรต่างๆ สิ่งอำนวยความสะดวก และความร่วมมือจากแหล่งต่างๆ ที่หลากหลายทั้งภายในและภายนอก เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2. กลยุทธ์ (Strategy) หมายถึงการกำหนดทิศทางและขอบเขตความต้องการในระยะสั้นและระยะยาวขององค์การ เพื่อจัดสรรทรัพยากรให้สอดคล้องกับบริบทของปัญหา สภาพแวดล้อมในการแข่งขัน ความคาดหวังของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและมาตรฐาน

3. การมีส่วนร่วม (Participation) หมายถึงการเปิดโอกาสให้ผู้เกี่ยวข้องมีส่วนร่วมประชุม ปรึกษา หารือ และ/หรือ ร่วมดำเนินการแก้ไขปัญหา เพื่อตัดสินและควบคุมรูปแบบบทบาทการทำงานร่วมกัน ซึ่งจะทำให้ผู้มีส่วนร่วมเกิดความผูกพันเป็นส่วนหนึ่งขององค์กรแบบเต็มตัว

4. ความเป็นอิสระ (Autonomy) หมายถึง การจัดระเบียบบริหารมิติของบุคลากรโดยควบคุมทิศทางการจัดการต่างๆ รวมทั้งการสรรหา และคุมงบประมาณตามอิสรภาพอย่างมีขอบเขต

นอกจาก 4 ข้อด้านบนและยังต้องมีการกำกับติดตามตามตัวบ่งชี้คุณภาพที่ชัดเจน จนบรรลุผลสัมฤทธิ์อย่างมีประสิทธิผล ประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

3.3 การอบแห้ง (Integrated)

การอบแห้ง (Drying) [5]คือกระบวนการกำจัดความชื้นในผลิตภัณฑ์ออกไปจนเหลือค่าที่ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการซึ่งการกำจัดความชื้นในผลิตภัณฑ์สามารถทำได้หลายวิธีการลดความชื้นผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีอบแห้ง โดยทั่วไปจะเป็นไปตามกราฟของการอบแห้ง (Drying Curve) ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งคงที่เช่นอุณหภูมิความชื้นและความเร็วลมที่พัดผลิตภัณฑ์คงที่

การอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง[6]ดังนี้ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ (Initial Period) ช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ (Constant Rate Period) และช่วงการอบแห้งความเร็วลดลง (Falling Rate Period) [7]

3.4 ประเภทของการอบแห้ง

การอบแห้งจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท[8] คือ การอบแห้งแบบอิสระ (Passive)เป็นการอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องมือมาช่วยในการหมุนเวียนกระแสอากาศร้อนที่ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ แต่จะใช้การเคลื่อนที่กระแสอากาศร้อนแบบธรรมชาติ ประเภทต่อมาคือ การอบแห้งแบบบังคับ (Active)เป็นการอบแห้งที่ใช้เครื่องมือช่วยบังคับให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่และหมุนเวียนในทิศทางที่ต้องการ[9] เช่น พัดลมจะดูดอากาศภายนอกไปรับความร้อนจากดวงอาทิตย์ จากนั้นจะมีการถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศและให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านผลิตภัณฑ์เพื่อลดความชื้นให้เหลือตามต้องการประเภทสุดท้ายคือ การอบแห้งแบบผสม (Hybrid) เป็นการอบแห้งที่อาศัยพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งความร้อนอื่น เช่นพลังงานความร้อนจากชีวมวล (Biomass) พลังงานความร้อนจากแก๊สชีวภาพ (Biogas)เป็นต้น ซึ่งระบบนี้ใช้แก้ปัญหากรณีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ

ดังนั้นเพื่อให้การอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูง และลดระยะเวลาในการอบแห้งให้น้อยลงทำให้อาจจะต้องอาศัยพลังงานความร้อนอื่นๆ ร่วมหากผลิตภัณฑ์มาก

3.5ประสิทธิภาพทางความร้อน

ค่าประสิทธิภาพของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์[10] สามารถหาได้ตามสมการที่ 1

$$\eta_{th,d} = \frac{mH_{fg}}{I_T A} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ $\eta_{th,d}$ คือประสิทธิภาพเชิงความร้อนโรงอบแห้ง

mคือปริมาณน้ำที่ระเหย (kg /day)

H_{fg} คือ ความร้อนแฝงกลายเป็นไอ (kJ/kg)

I_Tคือความเข้มของรังสีอาทิตย์ (MJ/m^2-day)

Aคือพื้นที่ของโรงอบแห้ง (m^2)

4. วิธีดำเนินงาน

ในการดำเนินการศึกษาการจัดการพลังงานในชุมชน/วิสาหกิจนั้นได้แบ่งขั้นตอนการทำงาน 5 ขั้นดังนี้

4.1 ขั้นตอนสำรวจชุมชน/วิสาหกิจ

การสำรวจชุมชนได้ดำเนินการลงพื้นที่จริงเพื่อทำการสำรวจเก็บข้อมูลพื้นฐาน โดยการรวบรวมข้อมูลจริงเป็นปัญหาปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น

4.2 ขั้นตอนการบูรณาการหน่วยงานรัฐ

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์และสังเคราะห์ถึงปัญหา และแนวทางแก้ไขโดยการนำโจทย์ปัญหาไปยังหน่วยงานของรัฐทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง เพื่อประชุมกำหนดกลยุทธ์ในการแก้ไขปัญหาทุกมิติ

4.3 ขั้นตอนการบูรณาการวิชาการ

เป็นขั้นตอนนำเทคโนโลยีอุปกรณ์ เครื่องมือระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้พลังงานทดแทนให้สอดคล้องกับแผน AEDP 2015มาใช้เป็นเครื่องมือ หรือมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับโจทย์ปัญหาชุมชนที่เกิดขึ้น

4.4ขั้นตอนออกแบบเพื่อติดตั้งระบบ

เป็นขั้นตอนการออกแบบ ปรับปรุงเทคโนโลยีที่มีอยู่เพื่อให้เข้ากับปัญหาให้ได้ดีที่สุด และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

4.5ขั้นตอนการติดตามและประเมินผล

หลังการบูรณาการทั้งหน่วยงานภาครัฐและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แล้วก็จะเป็นกระบวนการทดสอบ ติดตาม แก้ไขปัญหา และประเมินผลขั้นสุดท้ายเพื่อทำการสรุปเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องมือและประสิทธิผลของกระบวนการทางความคิดกลยุทธ์ในการแก้ไขปัญหา

5. ผลการดำเนินงาน

5.1 ผลสำรวจชุมชน/วิสาหกิจ

การสำรวจพบว่าชุมชนเป็นชุมชนที่ทำการผลิตถ่านอัดแท่งขาย โดยการซื้อผงถ่านเศษถ่านมาทำการบดและผสมกับตัวประสานในอัตราส่วน ถ่าน:ตัวประสาน เป็น 7:3 ส่วนและใช้อัดแท่งผ่านสกรูมอเตอร์ ดังรูปที่2

รูปที่ 2 ระบบผลิตถ่านอัดแท่งแบบเดิม

จากนั้นตัดให้ได้ขนาดตามต้องการจัดเรียงใส่ตระแกรงเก่าโดยใช้ตระแกรงจากพัดลมตั้งพื้นเก่ามาประยุกต์ใช้ แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3การจัดเรียงและการวางถ่านในชั้นตากแบบเดิม

จากนั้นนำเข้าไปอบในฉางข้าวเก่าซึ่งมุงผนังด้วยอิฐบล๊อคและหลังคาเป็นสังกะสี และใช้เศษถ่านแตกมาจุดใส่เตาถ่านเพื่อนำไปอบถ่าน แสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 เตาถ่านที่ใช้สำหรับอบเพื่อให้ความร้อนแบบเดิม

ซึ่งจากการสอบถามพบว่าต้นทุนต่อรอบสำหรับอบถ่านอัดแท่งเท่ากับ3,200 บาท/รอบ

5.2ผลการบูรณาการหน่วยงานรัฐ

จากผลการดำเนินงานสำรวจปัญหาพบว่าชุมชนขาดความรู้ด้านพลังงาน งบประมาณในการพัฒนาโรงอบ และการประชาสัมพันธ์ และขาดตลาดรองรับผลิตภัณฑ์

ดังนั้น จึงได้บูรณาการหน่วยงานภาครัฐเข้ามาช่วยชุมชนจำนวน7 หน่วยงานดังนี้ มหาวิทยาลัยมหาสารคามดำเนินงานมิติวิชาการ สำนักงานพลังงานจังหวัดมหาสารคาม โดยนายนิคม เดชพร (พนจ) และนายอภิวัจน์ แก้วตั้งขึ้นดูโครงการหลักและงบประมาณโรงอบแห้ง,นายสายพันธุ์ ผดุงเกียรติศักดิ์ศูนย์บริการวิชาการที่ 3 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานโดยมิติส่งเสริมต่อยอดโครงการ สำนักงานประชาสัมพันธ์จังหวัดดูแลด้านการประชาสัมพันธ์ สำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัด และสำนักงานพาณิชย์จังหวัดรับผิดชอบด้านการตลาด มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามดำเนินการต่อยอดเครื่องอัดถ่านอัดแท่งให้โดยผ่านโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP)

5.3 ผลการบูรณาการวิชาการ

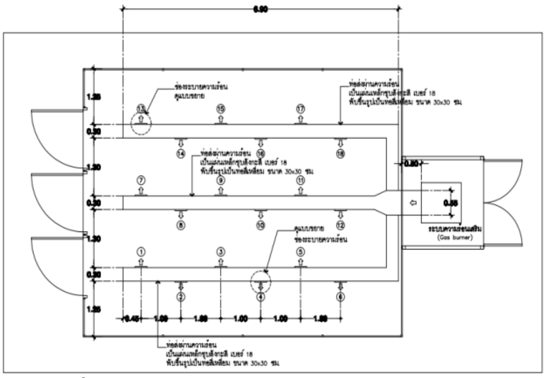
ห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำการติดตั้งที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ตำบลหนองบัวสันตุได้นำโรงอบแห้งแบบ พพ1 มาใช้และทำการประยุกต์ในส่วนระบบท่อส่งลมร้อนจากระบบความร้อนเสริมโดยใช้ระบบส่งลมร้อนเป็น 3 ท่อแทน และออกแบบชั้นตากให้ตากผลิตภัณฑ์ให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและบรรจุผลิตภัณฑ์ให้ได้มากๆ แต่ไม่ขวางการกระจายลมร้อน

5.4 ผลการติดตั้ง และการวัดค่าทางวิทยาศาสตร์

ห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำการติดตั้งที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ตำบลหนองบัวสันตุ เป็นแบบ พพ1 นำมาประยุกต์ขนาดพื้นที่ 6.00 x 8.20 ตารางเมตรแสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พพ1 ประยุกต์

ส่วนประกอบของโรงอบแห้งมีดังต่อไปนี้ งานโครงสร้างใช้เหล็กกันสนิม งานผนังและหลังคากรุด้วยแผ่นโพลี่คาร์บอเนตใส หนา 6 มิลลิเมตร แข็งแรงทนต่อแสงยูวี บริเวณขอบมีซีลกันน้ำ พื้นเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กผิวหน้าฉาบเรียบโรยผงฝุ่นสีดำพร้อมติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 50 วัตต์ พร้อมระบบความร้อนเสริมชนิดเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม (LPG) เพื่อผลิตลมร้อนชนิดไหลในท่อลมร้อน 3 ท่อ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ระบบผลิตลมร้อนชนิดไหลในท่อ 3 ท่อ

การทดสอบผลิตภัณฑ์ ได้ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็นลักษณะของอุณหภูมิ ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ เพื่อมาคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1ประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงอบแห้ง

M_i (kg)	M_o (kg)	T_{IN} (C)	A (m^2)	time (hr)	I (W/m^2C)	η_{th} %
4500	4254	44.2	72	8	692	12.6

น้ำหนักผลิตภัณฑ์ทำการทดสอบ ครั้งละ 4,500 กิโลกรัม โดยจะทำการเก็บข้อมูลการอบแห้งเพื่อหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อน และคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่า ค่าอุณหภูมิห้องเฉลี่ย 44.2องศาเซลเซียส และค่ารังสีแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ย 692วัตต์ต่อตารางเมตร สามารถทำให้น้ำหนักผลิตภัณฑ์ทดสอบลดลงเหลือ 4,254กิโลกรัมในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมเฉลี่ยห้องอบแห้งมีค่า 12.6เปอร์เซ็นต์

ด้านการวัดค่าความร้อน (Heating value)ของผลิตภัณฑ์ ได้ใช้เครื่องบอมแคลอรี่มิเตอร์e2k รุ่นcal 2k และระยะเวลาการอบผลิตภัณฑ์ทดสอบแสดงดังตารางที่ 5.2ค่าความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่า 5,477 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม มีปริมาณเถ้าน้อย ระยะเวลาการอบ 1 วัน ส่วนโรงอบแห้งเดิมค่าความร้อนมีค่า 4,372 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม มีปริมาณเถ้ามากกว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการอบ 3 วัน

ตารางที่ 5.2 ค่าความร้อนและเวลาที่อบ

คุณภาพและเวลา โรงอบแบบเดิม		คุณภาพและเวลา โรงอบแบบใหม่	
เวลา (วัน)	ค่าความร้อน Kcal/kg	เวลา (วัน)	ค่าความร้อน Kcal/kg
3	4,372	1	5,477
Ash			
มากกว่า		น้อยกว่า	

6. สรุป

ผลการศึกษา พบว่าจากการบูรณาการหน่วยงานภาครัฐจำนวน 7 หน่วยงานและกำหนดกลยุทธ์การแก้ไขปัญหาให้สอดคล้องกับพันธะกิจของแต่ละหน่วยงาน โดยกระบวนการประชุมเพื่อทำแผนการดำเนินงานร่วมกัน พบว่า ชุมชนได้รับงบประมาณการสร้างห้องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงจากกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานโดยสำนักงานพลังงานจังหวัดเป็นผู้ดำเนินการด้านการออกแบบและประยุกต์ใช้มหาวิทยาลัยมหาสารคามเป็นผู้รับผิดชอบ ซึ่งห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนนี้ มีขนาดพื้นที่ 48 ตารางเมตร โดยผลิตภัณฑ์อบแห้งคือถ่านอัดแท่ง สามารถอบแห้งได้ 4,500 กิโลกรัม/วัน ใช้ระยะเวลาในการอบ 8 ชั่วโมง ที่ค่ารังสีแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ย 692วัตต์ต่อตารางเมตร และค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 35องศาเซลเซียส อุณหภูมิห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 44.2องศาเซลเซียสให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่า 12เปอร์เซ็นต์จากนั้นสำนักงานประชาสัมพันธ์จังหวัดเป็นผู้ดำเนินการโฆษณา โดยมีสำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัด , สำนักงานพาณิชย์จังหวัด, ศูนย์บริการวิชาการที่ 3 มหาสารคามและมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามดำเนินการส่งเสริมการขาย พัฒนาต่อยอดงานวิจัยโดยใช้โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP) ทำให้ได้งบประมาณในการทำเครื่องอัดถ่านอัดแท่งเพิ่มจำนวน160 ชุด และได้ผู้ซื้อจากบริษัทเอกชนจำนวนวันละ 30 ตัน คิดเป็นเงินรายได้ต่อวัน 300,000 บาท จากการบูรณาการหน่วยงานในพื้นที่ และใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสม

ผลจากการดำเนินงานสามารถประหยัดพลังงานจากการลดการใช้ถ่าน คิดเป็นเงิน 66,000 บาท/ปี เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ 1.728 $x10^{-4}$ktoe จากการลงทุนติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดมีความร้อนเสริมเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม เป็นเงิน ลงทุน475,200 บาทจะให้ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 7.2 ปี

จากการดำเนินการดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการบูรณาการหน่วยงานภาครัฐเข้าร่วมกัน และให้ทำงานในพันธะกิจของแต่ละหน่วยงานแล้วสามารถทำให้เกิดการแก้ปัญหาให้ชุมชนได้มากกว่ามิติเดียว แต่ทั้งนี้ก็ยังพบปัญหาซึ่งควรจะทำการวิจัยต่อยอดในด้านการหารูปแบบหรือกระบวนการทำงานร่วมกันกับปัญหาในชุมชนเพื่อให้เกิดความยั่งยืนที่เหมาะสมด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณงบประมาณจากแหล่งทุนกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงานและทุนสนับสนุนจากโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP)

8. เอกสารอ้างอิง

[1] คณะคุรุศาสตร์ (ม.ป.พ.)*การจัดการเรียนการสอนแบบบูรณาการเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน,* (เอกสารชุดโครงการย่อย วพร.ลำดับที่ 47). จุฬาลงกรมหาวิทยาลัย.

[2] เสริม จันทร์ฉาย และยุทธศักดิ์ บุญรอด, *การพัฒนาเครื่องอบแห้งผลไม้ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย,* การประชุมวิชาการเครือข่าย พลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1 , หน้า 147-150.

[3] สมชาติ โสภณณฤทธิ์. (2537). *การอบแห้งเมล็ดพืช,* กรุงเทพฯ. สถาบันเทคโนโลยพระจอมเกล้าธนบุรี.

[4] ประกอบ สาระวรรณ. (2550).*การบริหารจัดการศึกษแบบบูรณาการ,* โครงการพัฒนานวัตกรรม, หน้า 1.

[5] การไฟฟ้าฝ่ายผลิต.(2009).*พลังงานแสงอาทิตย์,* ธันวาคม.

[6] G. Pirasteh, R. Saidur, S.M.A. Rahman& N.A. Rahim. (2014).*A review on development of solar drying applications,*Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 133-148

[7] Erick Cesar Lopez-Vidana, Lilia L. Mendez-Lagunas & Juan Rodriguez-Ramirez. (2013). *Efficiency of a hybrid solar–gas dryer,* Solar Energy 93, pp. 23–31.

[8] บงกช ประสิทธ, อนันต์ พงศ์ธรกุลพานิช & สุขฤดี นาถกรณกูล. (2549). *การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน,* วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[9] สำนักงานพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์. (2554). *คู่มือเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์,*กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงานร่วมกับภาคฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปกร.

[10] O.V. Ekechukwu.(1999). *Review of solar energy dryingI: an overview of drying principles and theory,* Energy Convers Manage, pp. 593–613.

ระบบวัดบันทึกเฝ้าระวังระยะไกลแบบชาญฉลาดสำหรับไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Intelligent Remote Monitoring Systemfor PV Power System

ธนสิน บุญนาม[1] และ บุญยัง ปลั่งกลาง[2]

Thanasin Boonnam[1] and Boonyang pangklang[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

thanasin.b@en.rmutt.ac.th

[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

boonyang.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้จะนำเสนอการพัฒนาต้นแบบระบบเฝ้าระวังและจัดการพลังงานทดแทนไฮบริดจ์ระยะไกลแบบชาญฉลาดด้วยระบบสมองกลฝังตัวที่มีต้นทุนต่ำ ระบบนี้จะบันทึกผลการใช้พลังงานแบบทันกาลผ่านระบบเครือข่ายเพื่อแสดงประวัติการทำงานแบบกราฟิกผ่านเว็บไซต์ที่รองรับทั้งคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟนและสามารถบริหารจัดการอย่างชาญฉลาด โดยขณะที่แนวโน้มการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นเกินภาระการจ่ายไฟฟ้าปกติ ระบบจะตัดโหลดตามที่ผู้ใช้กำหนดไว้ นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถส่งสัญญาณตัดโหลดหรือสั่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเองได้จากเว็บไซต์เดียวกัน จากการทดสอบโดยให้ระบบนี้ทำงานร่วมกับชุดควบคุมการผลิตพลังงานงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จาก SMA พบว่าระบบนี้สามารถทำงานได้ถูกต้อง

Abstract

This article proposes a development ofintelligent remote monitoring and management system for hybrid power system by usinglow-cost embedded system. Thissystem is able to collect operation parameters via network system and provide intelligently control that automatically cuts off the loads or turns on the generators when the power consumption trends to exceed the user configured values. All collected parameters and system settings are illustrated on the developedresponsivewebsite which supports both computer and smartphone screens. In testing, the proposed system was operated with PV system from SMA Solar Technology as a test system and the results showed that this system worked properly and seamlesslywhile achieving lower hardware costthan the official device.

คำสำคัญ : เฝ้าระวังควบคุม พลังงานทดแทน ระยะไกล

Keywords : Remote Monitoring and Control, PV power system

1. บทนำ

จากปัญหาความไม่มีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทน ระบบสมาร์ทกริดมีความสามารถที่จะช่วยให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพมากขึ้น สมาร์ทกริดจึงเป็นแนวโน้มที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้ในอนาคต และระบบเฝ้าระวังและจัดการเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในระบบสมาร์ทกริดแต่มีอุปสรรคในเรื่องต้นทุนที่สูง [1-2]

อุปกรณ์ระบบสมองกลฝังตัวในปัจจุบันมีต้นทุนต่ำลงและสามารถทำงานได้อย่างหลากหลายมากขึ้นบอร์ด Raspberry Pi เป็นระบบสมองกลฝังตัวที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน มีความสามารถในการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตผ่านแอร์การ์ด USB[3] และมีวงจรเสริมที่ช่วยให้สื่อสารด้วยโปรโตคอล RS-485 ได้[4]นอกจากนี้ Raspberry Pi ยังมีไลบรารีที่รองรับการสื่อสารอย่างทันกาล (Instant messaging) ด้วยโปรโตคอล MQTT [5]เช่นกันสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นSMA Solar Technologyเป็นผู้ผลิตหนึ่งที่ได้รับความนิยม รูปแบบข้อมูลที่อุปกรณ์จาก SMA สื่อสารผ่านโปรโตคอล RS-485 เรียกว่า YASDI (Yet Another SMA Data Implementation) [6]โดย SMA ได้เผยแพร่ไลบรารี YASDI เพื่อให้นักพัฒนาโปรแกรมนำไปต่อยอดได้เช่น โปรแกรม SMysqLogger[7]สามารถเก็บข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ SMA ลงฐานข้อมูล MySQL และแสดงผลผ่านเว็บไซต์ได้ แต่โปรแกรมนี้มีข้อจำกัดด้านความยืดหยุ่นเนื่องจากพัฒนาด้วยภาษา C สำหรับอุปกรณ์ Network-attached storage (NAS)เท่านั้น นอกจากนี้ยังมีโปรแกรม

yasdiXMPP[8] ที่พัฒนาไลบรารี YASDI เดิมให้สามารถใช้กับภาษา Python ซึ่งเป็นภาษาที่ได้รับความนิยมในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับบอร์ด Raspberry Pi ได้ แต่ยังไม่มีการนำมาพัฒนาต่อในรูปแบบเว็บไซต์

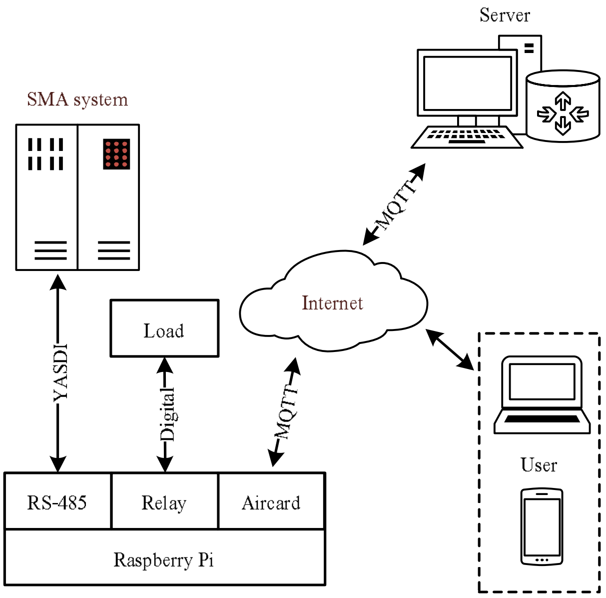
บทความนี้จึงเสนอการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวได้แก่ บอร์ด Raspberry Pi เชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าจาก SMA Solar Technology และส่งข้อมูลที่ได้ผ่านอินเตอร์เน็ตไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลMongoDB รวมถึงการพัฒนาเว็บไซต์จากต้นแบบ SB Admin 2 ที่มีพื้นฐานมาจาก Bootstrap framework จึงสามารถทำงานแบบ Responsiveปรับขนาดหน้าจอให้เหมาะสมกับคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟนได้เองผู้ใช้จึงสามารถตรวจสอบประวัติการทำงาน ตั้งค่าการปิด/เปิดอุปกรณ์ หรือสั่งปิด/เปิดอุปกณ์ได้ทันที ดังนั้นระบบนี้ช่วยให้ผู้ใช้สามารถบริหารจัดการระบบพลังงานทดแทนไฮบริดจ์ได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำลง

ระบบพลังงานทดแทนที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างในบทความนี้เป็นระบบรายการอุปกรณ์ได้แก่ อินเวอร์เตอร์แบตเตอรี่รุ่น SI2224 และเซนเซอร์รุ่น SENS0070ระบบนี้ถูกทดสอบโดยเปรียบเทียบข้อมูลที่อ่านได้กับ Sunny WebBoxซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานในลักษณะเดียวกันแต่มีราคาสูงกว่า จากผลการทดสอบพบว่าระบบที่นำเสนอสามารถทำงานได้ถูกต้อง

1. แบบจำลองของระบบฯ

จากรูปที่ 1ระบบนี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือระบบสมองกลฝังตัวและเครื่อง Server ประกอบด้วยบอร์ด Raspberry Pi ได้รับการพัฒนาโปรแกรมเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าจาก SMA Solar Technology ด้วยโปรโตคอล RS-485และรูปแบบข้อมูล YASDI เมื่อโปรแกรมรับข้อมูลจากอุปกรณ์ SMA แล้วจะเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตผ่านแอร์การ์ดเพื่ออัพโหลดข้อมูลดังกล่าวให้กับ Server และพัฒนาโปรแกรมรับคำสั่งปิด/เปิด โหลดจากศูนย์กลางอย่างทันกาลโดยโปรแกรมทั้งสองใช้การสื่อสารโปรโตคอล MQTT

สำหรับเครื่อง Server จะได้รับการพัฒนาโปรแกรมรับข้อมูลจาก Raspberry Pi ด้วยโปรโตคอล MQTT เพื่อเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล MongoDBและส่วนประสานงานผู้ใช้แบบ Responsiveเพื่อแสดงประวัติการทำงาน รับคำสั่งปิด/เปิด โหลดแบบอัตโนมัติ หรือจากผู้ใช้



รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบเฝ้าระวังและจัดการพลังงานทดแทนไฮบริดจ์ระยะไกลแบบชาญฉลาด

2. การพัฒนาระบบสมองกลฝังตัว

บอร์ด Raspberry Pi ได้รับการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา Python โดยแบ่งออกเป็น 2 โปรแกรมคือ โปรแกรมส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ SMA ไปยัง Server และโปรแกรมรับคำสั่งจากศูนย์กลางซึ่งทั้งสองส่วนใช้การสื่อสารโปรโตคอล MQTT

2.1 โปรแกรมส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ SMA ไปยัง Server

การพัฒนาโปรแกรมนี้แบ่งออกเป็นส่วน คือส่วนอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ SMA และส่วนส่งข้อมูลไปยัง Server

การอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ SMA ทำได้ด้วยการประยุกต์ใช้ไลบรารี RS-485 [6]ทำงานร่วมกับไลบรารี YASDI ภาษา Python [8]โดยโปรแกรมจะอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ SMA ทุกๆ 5นาที ตัวอย่างข้อมูลที่อ่านได้เช่น ชื่ออุปกรณ์, ชื่อพารามิเตอร์ ค่า และหน่วย เป็นต้น ดังรูปที่ 2

```
pi@raspberrypi:~/FTP/yasdiXMPP $ python pyYasdi2.py yasdi.ini
:>        Interface COM1 ready
:>===================     Start Device =====================
:>        Device       : SI2224EH SN:1222001148
:>        Serial number: 1222001148
:>        Type         : SI2224EH
:>        Handle       : 1
:>        Channel len  : 153
:>        Timestamp    : 2016-07-01 08:55:46
:>===================       Start Spot =====================
:> ---------------------------------------------------------------
:> | pc |   ch |          name |                value |      unit |
:> ---------------------------------------------------------------
:> |  0 |  166 |           Soh |                100.0 |         % |
:> |  0 |  167 |        StatTm |       13.9000002071 |         d |
:> |  0 |  168 |      ChrgFact |       2.96999993362 |           |
:> |  0 |  169 |   BatTmpPkMin |       27.0000980571 |      degC |
:> |  0 |  170 |   BatTmpPkMax |       29.1000980884 |      degC |
:> |  0 |  171 |  BatCurOfsErr |   9.76547598839e-05 |         A |
:> |  0 |  172 |      BatVtgPk |       21.8000003248 |         V |
```

รูปที่ 2ตัวอย่างที่อ่านได้จาก อินเวอร์เตอร์แบตเตอรี่รุ่น SI2224

ในการส่งข้อมูลให้กับ Server ข้อมูลจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบ JavaScript Object Notation (JSON),มีโครงสร้างดังรูปที่ 3,เพื่อให้มีขนาดเล็ก ส่งได้เร็ว ประหยัดแบนด์วิดธ์ และเข้ากันได้กับฐานข้อมูล MongoDB ซึ่งใช้รูปแบบข้อมูล JSON เช่นกัน สำหรับ Topic ในส่งข้อมูลการทำงานนี้ ทุกโรงไฟฟ้าจะใช้ Topic เดียวกันคือ “device/data”

```
{
  "plant": "ชื่อโรงไฟฟ้า",
  "ts": "วัน-เวลา",
  "sn": "serial อุปกรณ์",
  "device": "ชื่ออุปกรณ์",
  "type": "ชนิดอุปกรณ์",
  "channels": [
    {
      "channel": "พารามิเตอร์1",
      "value": "ค่า1",
      "unit": "หน่วย1"
    },
    {
      "channel": "พารามิเตอร์2",
      "value": "ค่า2",
      "unit": "หน่วย2"
    }
  ]
}
```

รูปที่ 3 โครงสร้างวัตถุ JSON ของค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ SMA

2.2 โปรแกรมรับคำสั่งปิด/เปิด อุปกรณ์จากศูนย์กลาง

โปรแกรมนี้ตรวจสอบ Topic และ Message แบบ JSON ที่ส่งมาจาก Server เพื่อควบคุมการปิด/เปิด อุปกรณ์ ผ่านวงจรรีเลย์ 4 ช่องที่เชื่อมกับ GPIOของ Raspberry Pi ในที่นี้คือขา 11, 13, 16 และ 22 โดยคำสั่งต้องมีรูปแบบดังนี้

Topic คือ ชื่อโรงไฟฟ้า/control

Message คือ {"gpio":"เลขขา", "turn":"on/off"}

เมื่อ Raspberry Pi ได้ทำงานตามคำสั่งแล้วจะส่งข้อความกลับไปที่Server เพื่อทวนสอบ โดยเป็นข้อความเดียวกับคำสั่งที่ได้รับ รวมกับผลลัพธ์การทำงานดังนี้

Topic คือ ชื่อโรงไฟฟ้า/control

Message คือ {"gpio":"เลขขา", "turn":"on/off", "result":"ok/fail"}

3. การพัฒนาโปรแกรมสำหรับServer

การพัฒนาโปรแกรมนี้แบ่งออกเป็น2 ส่วนคือโปรแกรมรับข้อมูลจากRaspberry Piพัฒนาด้วยภาษา Python และเว็บไซต์แบบ Responsive โดยทั้งสองส่วนสื่อสารด้วยโปรโตคอล MQTT

3.1 โปรแกรมรับข้อมูลจาก Raspberry Pi

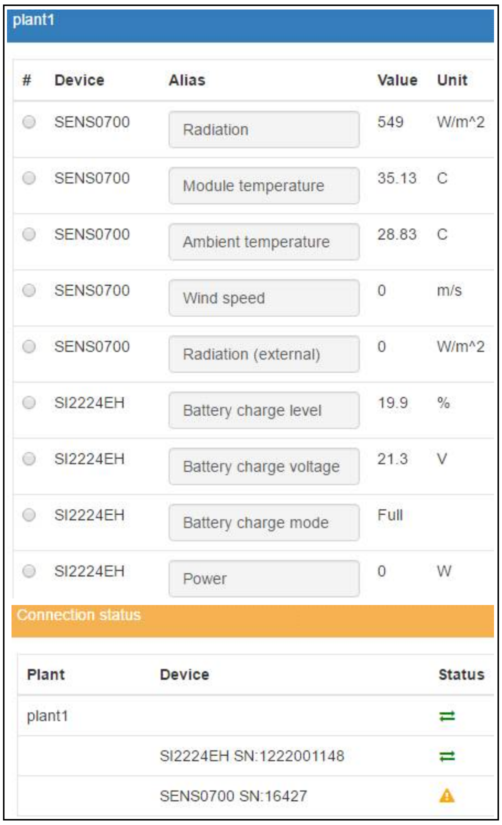
เนื่องจากข้อมูลจาก Raspberry Pi อยู่ในรูปแบบ JSON แล้ว โปรแกรมจึงสามารถส่งข้อมูลที่ได้จาก Raspberry Pi ไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล MongoDB ทันทีดังรูปที่ 4

```
▼ array [1]
  ▼ 0 {7}
      _id : 57d290328ac7441788d4a19d
      plant : plant1
      ts : 2016-09-09 17:34:20
      sn : 1222001148
      device : SI2224EH SN:1222001148
      type : SI2224EH
    ▼ channels [153]
      ▼ 0 {3}
          value : 16.00000023841858
          unit : V
```

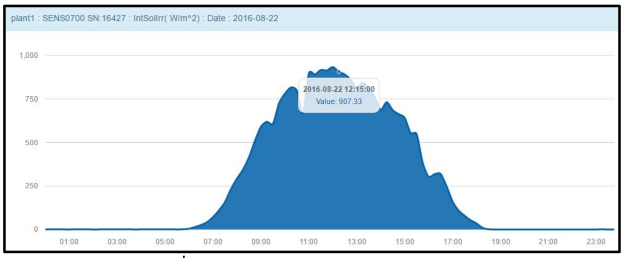
รูปที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกเก็บในฐานข้อมูล MongoDB

3.2 เว็บไซต์แบบ Responsive

เมื่อผู้ใช้เข้าสู่ระบบจะแสดงหน้าจอ Dashboard ดังรูปที่ 5โดยจะแสดงค่าการทำงานที่ผู้ใช้สนใจแบบทันกาล และสถานการณ์เชื่อมต่ออุปกรณ์ ถ้าอุปกรณ์ใดขาดการเชื่อมต่อมากกว่า 15 นาที จะถือว่าขาดการเชื่อมต่อนอกจากนี้มีหน้าจอ Chart สำหรับแสดงประวัติการทำงานในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 6, Control สำหรับควบคุมการปิด/เปิด อุปกรณ์โดยผู้ใช้ดังรูปที่ 7 และแบบอัตโนมัติดังรูปที่ 8

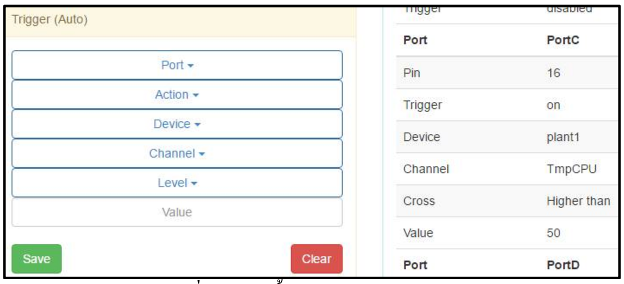


รูปที่ 5 ตัวอย่างหน้าจอแรกของเว็บไซต์แสดงผล



รูปที่ 6 หน้าจอแสดงกราฟประวัติการทำงาน

รูปที่ 7 หน้าจอควบคุมการปิด/เปิด อุปกรณ์



รูปที่ 8 หน้าจอตั้งค่าการทำงานอัตโนมัติ

2. การทดสอบ

ในการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการทดสอบความถูกต้องของข้อมูลการทดสอบปิด/เปิด อุปกรณ์จากผู้ใช้และแบบอัตโนมัติ

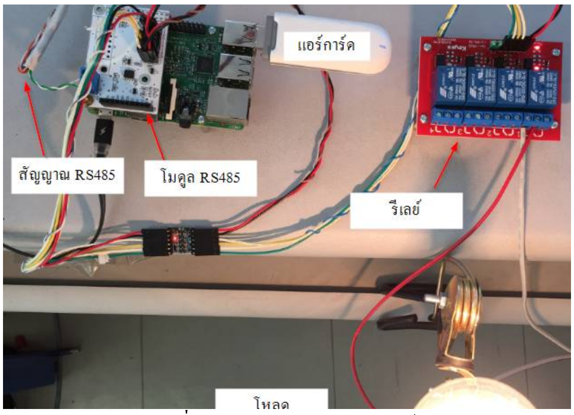
การทดสอบความถูกต้องจะเปรียบเทียบเทียบข้อมูลที่ได้รับจากอินเวอร์เตอร์แบตเตอรี่รุ่น SI2224 และเซนเซอร์รุ่น SENS0070 ระหว่างระบบที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 5กับอุปกรณ์ Sunny WebBoxดังรูปที่ 9 ณ เวลาเดียวกันพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นแสดงได้ถูกต้อง

SENS0700:16427		
Radiation	549	W/m^2
Module temperature	35.13	°C
Ambient temperature	28.83	°C
Wind speed	0	m/s
Radiation (external)	0	W/m^2

SI2224EH:1222001148		
Battery charge level	17.9	%
Battery voltage	21.3	V
Battery charge mode	Full	
Power	0	W

รูปที่ 9 หน้าจอแสดงข้อมูลของอุปกรณ์ Sunny WebBox

การทดสอบปิด/เปิด อุปกรณ์จากผู้ใช้และแบบอัตโนมัติ โดยให้ผู้ใช้ปิด/เปิด อุปกรณ์ด้วยตนเองผ่านหน้าจอในรูปที่ 7 ส่วนการทดสอบปิด/เปิด แบบอัตโนมัติจะให้ผู้ใช้กำหนดค่าตาม รูปที่ 8พบว่าระบบฯสามารถปิด/เปิด รีเลย์ควบคุมอุปกรณ์ได้ตามที่กำหนดคือถ้าแบตเตอรี่ต่ำกว่า 40% ก็จะตัดโหลดบางส่วนออกจากระบบ



รูปที่ 10 การทดสอบปิด/เปิด อุปกรณ์

3. สรุป

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าระบบเฝ้าระวังและจัดการพลังงานทดแทนไฮบริดจ์ระยะไกลแบบชาญฉลาดที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถทำงานร่วมกับระบบเดิมได้อย่างสมบูรณ์ ระบบนี้จะเป็นต้นแบบการให้บริการข้อมูลและประวัติการทำงานของระบบพลังงานทดแทนไฮบริดจ์ ที่สามารถควบคุมการปิด/เปิดอุปกรณ์แบบกำหนดเองและแบบอัตโนมัติได้อย่างทันกาล ช่วยลดต้นทุน การทำงานผ่านระบบอินเตอร์เน็ตสามารถตอบสนองการบริหารจัดการระบบพลังงานในยุคใหม่ สามารถนำไปพัฒนาเพิ่มเติมระบบการแจ้งเตือนอย่างทันกาลหรือการรองรับโปรโตคอลอื่นๆ ที่มีความนิยมในอุตสาหกรรมเช่น Modbus ได้

4. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวช. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

5. เอกสารอ้างอิง

[1] B. Plangklang, “Decentalized interactive monitoring website for PV-Grid connected system,” in*EU PV conference*, Paris, France, 2003J.

[2] W. Kleinkauf, Mohamed I. A. Ibrahim, “Decentralized Hybrid Renewable Energy Systems,” a dissertation at *University of Kassel*, Germany, 2002.

[3] S. Dimopoulos, “How to use Sakis3g,” แหล่งที่มา: http://www.sakis3g.com. ค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม, 2559.

[4] A. Jin, “User Guide of RS485 Shield for Raspberry Pi,” แหล่งที่มา: http://learn.linksprite.com/raspberry-pi/shield/user-tips-of-rs485-shield-for-rpi. ค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม, 2559.

[5] C. Newsom, “Mosquitto Message Broker,” แหล่งที่มา: https://github.com/mqtt/mqtt.github.io/wiki/Mosquitto Message Broker. ค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม, 2559.

[6] Prüssing, "YASDI Documentation, Implementation of the SMA Data Protocol," SMA Technologie AG, แหล่งที่มา: http://www.sma.de/en/products/monitoring-control/yasdi.html.ค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม, 2559.

[7] F. Stoffregen, "SMA inverter Mysql Logger and Web UI," แหล่งที่มา: https://github.com/Donderda/SMysqLogger. ค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม, 2559.

[8] J. Lindborg, "yasdiXMPP," แหล่งที่มา: https://github.com/joachimlindborg/yasdiXMPP. ค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม, 2559.

[9] วรรณวิษา สิงห์ประเสริฐและธราทร ธาตุมาศ, "เว็บแอพพลิเคชั่นสำหรับสำรวจและควบคุมระบบพลังงานไฮบริดระยะไกล", *ปริญญานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2559.

การศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจากเศษผักผลไม้เหลือทิ้ง

The investigation of Biogas Quantity from Vegetable and Fruit wastes

กมลชนก ปลื้มบุญ[1] วรรณนา กล่อมแก้ว[1]สุกัญญา กกกนทา[1]ฐิติพร เจาะจง[2]ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,*]
ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1]อรพรรณ ธนะขว้าง[1]ธีรภัทร์ พุ่มพลอย[1]ประพิธาริ์ ธนารักษ์[3]
และพิสิษฎ์ มณีโชติ[3]

Kamonchanok Plumbun[1] Wannpha klomkeaw[1] Sukanya Kokkontha[1] Titiporn Chorchong[2]
NattawutKhaosaad [1*] SakchaiPetsuwan [1] Orrapun thanakwang[1] Teerapat Phumploy[1]
Prapita Thanarak[3] Pisit Maneechot[3]

[1,*]คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก65000
โทร 0-5523-0597 โทรสาร 0-5523-0597 E-mail: nattawutkhao@gmail.com, sakchai@psru.ac.th
[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก65000
โทร 0-5523-0597 โทรสาร 0-5523-0597E-mail:titiporn_ant@hotmail.com
[3]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก65000
โทร 0-5596-3193 โทรสาร 0-5596-3182 E-mail: prapitat@nu.ac.th, pisitm@nu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มุ่งเน้นนำเสนอผลการศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพด้วยอัตราส่วนของเศษผักผลไม้ต่อมูลสัตว์เท่ากับ80:20 โดยนำเศษผักผลไม้บดร่วมกับจุลินทรีย์และบรรจุใส่ในชุดถังหมักขนาด 1,000 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพด้วยหลักของอาร์คิเมดีส (Archimedes's Principle) หรือหลักการแทนที่น้ำ และหาประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ซึ่งในการทดลองนี้ดำเนินการตั้งแต่วันที่ 1 - 23 มีนาคม 2559 ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จากการทดลอง พบว่า ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนสิ้นสุดกระบวนการมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม เท่ากับ 934 มิลลิลิตร และผลการวิเคราะห์ค่าTS (เริ่มต้น) เท่ากับ 49,373.83 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ค่า TS เท่ากับ8,697.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพมีมากที่สุดในช่วงแรกของการหมัก แต่ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจะลดลงอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มเช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด

Abstract

This paper has presented the results of biogas quantity from vegetables and fruits waste. An experiment was designed for 80:20 rational of vegetables and fruits waste (organics wastes) and animal's dung. The organic wastes were mashed and mixed with microorganism and then loaded into 1,000 milliliters digesting tank. The measure was applied Archimedes's principle to find the biogas quantity and total solid content. The data was collected during 1-23 March 2016 at the Science laboratory, Faculty of Sciences, PibulsorngkramRajabhat University. Totally biogas production was 934 milliliter. The total solid was 49,373.83 milligrams per liter from the beginning and was 8,697.33 milligrams per liter at the end. The conclusion of this experiment revealed that the biogas is produced high quantity at the beginning of digesting period but it's also continuous decreasing similarly to the total solid value.

คำหลัก:ก๊าซชีวภาพเศษผักผลไม้เหลือทิ้ง มูลสัตว์

Keywords: Biogas vegetables and fruits waste animal's dung

1. บทนำ

การเพิ่มจำนวนประชากรในชุมชน การเจริญเติบโตทางสังคมและเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะชุมชนใหญ่ เมื่อความเจริญเข้ามาถึงก็จะมีแหล่งการค้าที่สำคัญ เช่น ตลาดสด ที่มีขยะเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะเศษผักผลไม้ ซึ่งในแต่ละวันก็เป็นหน้าที่ของเทศบาลที่นำขยะออกไปจากตลาด โดยการกำจัดขยะทั่วไปของเทศบาล คือ นำไปทิ้งไว้ที่บ่อขยะหรือสถานที่ที่จัดไว้ ซึ่งไม่ได้มีการนำมาทำประโยชน์เพิ่มเติม ในทางตรงกันข้ามก็จะสร้างความสกปรก และขยะที่กองอยู่บนดินนอกจากจะส่งกลิ่นเหม็นแล้ว ยังเป็นที่อาศัยของแมลงวันและหนู ซึ่งเป็นแหล่งแพร่เชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เศษผักผลไม้ที่หมักหมมกันนั้นโดยปกติแล้วเมื่อมีการย่อยสลาย หรือขณะที่หมักหมมทับถมกันนั้นก็ทำให้มีก๊าซชีวภาพ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเป็นก๊าซที่ใช้ประโยชน์ได้ โดยที่ก๊าซชีวภาพนั้นได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เพราะในการผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากจะได้พลังงานแล้วยังสามารถลดปริมาณขยะพวกเศษผักผลไม้ได้อีกด้วย

เชื้อเพลิงที่เราใช้ประกอบอาหารส่วนใหญ่ก็คือ ก๊าซหุงต้ม หรือก๊าซแอลพีจี เป็นก๊าซที่ได้จากธรรมชาติ เป็นผลผลิตจากปิโตรเคมี ซึ่งในปัจจุบันก็พบว่าเริ่มขาดแคลนและมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ ถึงแม้ประเทศไทยจะมีแหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติ แต่ก็มีอยู่ไม่มาก ปัจจุบันนี้ประเทศไทยมีการนำเข้าของก๊าซจากต่างประเทศมาใช้ สภาวการณ์เช่นนี้ ก๊าซชีวภาพจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจทางหนึ่งที่ควรนำมาใช้กันอย่างจริงจัง เพราะสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้มแทนก๊าซแอลพีจีได้ ก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นจากการเศษผักผลไม้เหลือทิ้งที่ย่อยสลายได้จากครัวเรือนและชุมชน ก็เพื่อแก้ปัญหาเศษผักผลไม้ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ที่ส่งกลิ่นเหม็น และส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อม และได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ ในปัจจุบันก๊าซธรรมชาติกำลังขาดแคลนและมีราคาสูง ก๊าซชีวภาพจึงจะกลับมามีบทบาทที่สำคัญในการแก้ปัญหาในเรื่องพลังงาน ที่สำคัญเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพนี้มีข้อดีที่ทุกคนสามารถทำขึ้นใช้เอง ทำให้สามารถพึ่งพาตนเองได้มากขึ้น รวมทั้งแก้ไขปัญหาเศษผักผลไม้ที่มีมากให้มีจำนวนลดน้อยลง จึงเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วย ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษผักผลไม้ที่เหลือทิ้ง เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักเศษผักผลไม้เหลือทิ้ง

3.แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียชนิดไม่อาศัยออกซิเจน (Anaerobic) โดยที่ก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ประมาณ50–80 % นอกนั้นเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีก๊าซH_2S N_2 H_2อีกเล็กน้อย ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ปัจจุบันสารอินทรีย์ที่นิยมนำมาผ่านกระบวนการนี้แล้วให้ก๊าซชีวภาพคือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเช่นโรงงานแป้งมันสำปะหลังโรงงานเบียร์โรงงานผลไม้กระป๋องเป็นต้นรวมทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์จากกระบวนการดังกล่าวมีค่าCOD ลดลงมากกว่า80% และได้ก๊าซชีวภาพ0.3 – 0.5 ลบ.ม./กิโลกรัมCOD ที่ถูกกำจัดทั้งนี้ขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสียแต่ละประเภทก๊าซมีเทนมีค่าความร้อน39.4 เมกะจูล/ลบ.ม. สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้0.67 ลิตรซึ่งเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า9.7 กิโลวัตต์ทำให้เกิดกลุ่มก๊าซขึ้นขณะเกิดการย่อยสลายกลุ่มก๊าซนี้เรียกว่าก๊าซชีวภาพการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุสามารถให้ก๊าซชีวภาพแต่จะเกิดก๊าซมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายเช่นพืชสดจะเกิดก๊าซยากกว่ามูลสัตว์เนื่องจากมูลสัตว์มีการย่อยสลายมาบ้างแล้วจากสัตว์ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้รวดเร็วขึ้นดังนั้นการนำพืชสดมาใช้กระบวนการหมักให้ได้ก๊าซชีวภาพจะต้องทำการสับให้มีขนาดเล็กและหมักทิ้งไว้ก่อนสำหรับวัสดุที่นำมาหมักนอกจากจะมีพืชสดและมูลสัตว์แล้วยังสามารถนำของเสียหรือน้ำเสียจากกระบวนการต่างๆมาใช้หมักได้ด้วยเช่นน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเศษอาหารตามบ้านเรือนเป็นต้น[1]

หลักของอาร์คิเมดีส (Archimedes's Principle) หรือหลักการแทนที่น้ำ

หลักของอาร์คิเมดีส " (Archimedes's Principle) กฎนี้ว่า " น้ำหนักของวัตถุที่หายไปในน้ำย่อมเท่ากับน้ำหนักของน้ำที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่ " จากหลักฐานและกฎเกณฑ์ต่างๆที่เขาบันทึกเอาไว้เหล่านี้เองทำให้เขาได้รับการยกย่องว่า " เป็นบิดาแห่งกลศาสตร์ " (The father of mechanics)[2]

การหาประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) [3]

ของแข็งทั้งหมด (Total solids) หมายถึงปริมาณของแข็งหรือเนื้อสารทั้งหมดที่อยู่ในน้ำซึ่งคงเหลืออยู่ภายหลังจากผ่านการระเหยออกของน้ำจนหมดที่อุณหภูมิ103-105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนคือสารแขวนลอย (Suspended solids) และสารที่ละลายได้ (Dissolved solids)

1.สารแขวนลอย (Suspended solids) หมายถึงส่วนของของแข็งที่เหลือค้าง (Nonfiltrable residue) บนกระดาษใยแก้วมาตรฐานหลังจากการกรองตัวอย่างและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ103-105องศาเซลเซียส

2.สารที่ละลายได้ (dissolved solids) หมายถึงส่วนของของแข็งที่กรองผ่าน (Filterable residue) กระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานและยังคงเหลืออยู่หลังจากระเหยไอน้ำและอบแห้งที่อุณหภูมิ103-105องศาเซลเซียส

ของแข็งทั้งหมดเป็นปริมาณของสารทุกชนิดที่มีอยู่ในน้ำ (ยกเว้นน้ำ) ดังนั้นของแข็งทั้งหมดจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ (Organic matter) และสารอนินทรีย์ (Inorganic matter) มากมายหลายชนิดการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งในน้ำทิ้งจากอาคารและโรงงานอุตสาหกรรมนับว่ามีความสำคัญมากโดยเฉพาะการวิเคราะห์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมซึ่งคำนวณได้จากสมการ 1

$$TS(mg/l) = \frac{B - A \times 10^6}{C}$$

หมายเหตุ:

A หมายถึง น้ำหนักหลังทำการอบ

Bหมายถึง น้ำหนักก่อนทำการอบ

C หมายถึง ปริมาณน้ำที่เติม เพื่อหาปริมาณอยู่ในผักผลไม้ และมูลวัว

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัย ขั้นตอนการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

4.1 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

เป็นขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง เช่น เศษผักเศษผลไม้มูลวัว และบีกเกอร์ เป็นต้น

4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของตัวอย่างจุลินทรีย์และเศษผักผลไม้ที่บดละเอียดก่อนผสม

4.2.1 นำถ้วยครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.2.2 นำถ้วยครูซิเบิลออกจากตู้อบ แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำถ้วยครูซิเบิลไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักของถ้วยครูซิเบิล (น้ำหนักถ้วยเปล่า)

4.2.3 นำตัวอย่างมูลวัวและเศษผักผลไม้ที่บดละเอียดปริมาณ 1 กรัมใส่ในถ้วยครูซิเบิล ตัวอย่างละ 3 ถ้วย และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.2.4 นำตัวอย่างออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 30 นาที

4.2.5 นำถ้วยครูซิเบิลที่ใส่ตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไปและนำค่าที่บันทึกไว้มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ดังสมการที่ 1

4.3 ขั้นตอนการหมัก

นำเศษผักผลไม้ผสมกันในอัตราส่วน 50:50 หลังจากนั้นปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียดดังรูปที่ 1 หลังจากนั้นนำเศษผักผลไม้ที่บดละเอียดมาผสมกับมูลวัวในอัตราส่วน80 : 20กรัมต่อมิลลิลิตร [4]โดยใช้ปริมาณของแข็งทั้งหมด 15เปอร์เซ็นต์ของขนาดขวดแก้ว 1,000 มิลลิลิตรใช้เศษผักผลไม้บดละเอียดปริมาณ 220.29 กรัมร่วมกับจุลินทรีย์ปริมาณ 187.27 กรัมเทผสมเข้าด้วยกันและนำน้ำเปล่าเทผสมจนถึง 1,000 มิลลิลิตรของขวดแก้ว

รูปที่ 1 เศษผักผลไม้ที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียด

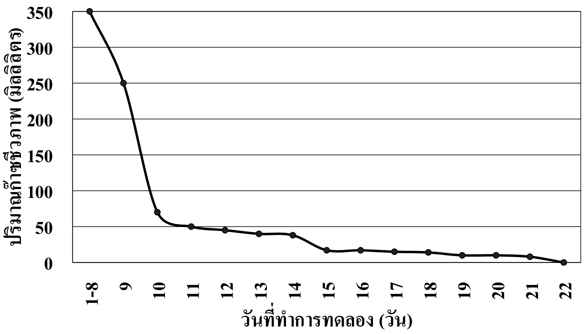
4.4 ขั้นตอนการเก็บผลปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ

4.4.1 ทำการเก็บก๊าซชีวภาพโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ นำน้ำที่ได้ในแต่ละวันใส่กระบอกตวง จดบันทึกค่าทุกวัน(โดยทำการหมักทิ้งไว้ก่อน 7 วัน แล้วจึงเริ่มเก็บก๊าซชีวภาพ)

4.4.2 เมื่อทำการทดลองเสร็จ นำของเหลวในขวดแก้วส่งตรวจหาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)

4.4.3 รวบรวมข้อมูล อภิปราย และสรุปผลการทดลอง

5. ผลการดำเนินการวิจัย



รูปที่2ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ

ในการทดลองหาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพระหว่างเศษผักผลไม้ผสมกับมูลวัว ในอัตราส่วน 80 : 20พบว่า ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมที่ได้เท่ากับ934มิลลิลิตรและการหาประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) พบว่าก่อนการทดลองเท่ากับ 49,373.83 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังการทดลองเท่ากับ 8,697.33 มิลลิกรัมต่อลิตรดังรูปที่ 2

6. สรุป

จากการทดลองหมักเศษผักผลไม้ที่เหลือทิ้งเพื่อศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพโดยใช้อัตราส่วนของเศษผักผลไม้ต่อมูลวัวในอัตราส่วน 80:20กรัมต่อมิลลิลิตร เป็นระยะเวลาในการหมัก22วันสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดลองได้ทำการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพโดยทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพพบว่าตั้งแต่เริ่มการทดลองจนสิ้นสุดกระบวนการมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 934 มิลลิลิตร

2. จากการทดลองวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (TS) ของเศษผักผลไม้ที่เหลือทิ้งในการทดลองมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ก่อนการทดลองและหลังการทดลองได้ผลดังนี้ ก่อนการทดลองเท่ากับ49,373.83มิลลิกรัมต่อลิตรและหลังการทดลองเท่ากับ8,697.33มิลลิกรัมต่อลิตร

7. อภิปรายผล

1. การหาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงแรกของการทดลองเนื่องจากในช่วงแรกมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีในช่วงแรกและหลังจากนั้นปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพลดลงอย่างต่อเนื่องจนไม่มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเนื่องจากในระบบสารอินทรีย์มีปริมาณลดลงทำให้จุลินทรีย์ไม่มีสารอาหารในการเจริญเติบโตเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกลิ่นประทุม ปัญญาปิง และคณะ ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงการเกิดก๊าซชีวภาพจากสิ่งเศษเหลือทิ้งในถังหมักแบบชุดและเดี่ยว พบว่า แนวโน้มของปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึงต้องการให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมีใช้อย่างต่อเนื่องจึงต้องมีการเติมเศษอาหารเพิ่มเติม [5]

2. การหาการหาประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ซึ่งก่อนการทดลองมีค่าปริมาณ TS สูงซึ่งแสดงว่ามีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มาก เหมาะสำหรับการนำไปย่อยสลายเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและหลังการทดลองมีค่า

TS ลดลง ดังนั้นก่อนการทดลองมีความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในระดับด่างอ่อนๆจึงมีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในระบบมีประสิทธิภาพสูงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของตระกูลศักดิ์เสนานิคมและคณะ ที่ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกองขยะ พบว่า การนำน้ำเสียจากกองขยะมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพควรใช้น้ำเสียจากกองของขยะอินทรีย์และค่าpH= 7.5 [6]

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ คณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปคณะครุศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามและคณาจารย์วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำและข้อมูลสนับสนุนในการศึกษานี้ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิตการควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas). สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

[2] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.).เว็บไซต์คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศทางวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2559 จากhttp://www.scimath.org

[3] บริษัทแอ็ซซีซทจำกัด - บริษัทอิแพคท์เอ็นเตอร์ไพรส์จำกัด.การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็ง. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2556จากhttp://www.assist-impact.net/

[4]ตุลา มุกทั่งและ ฐิติพร เจาะจง. (2558). อิทธิพลของค่าความเป็นกรดและด่างต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักเหลือทิ้ง.สารนิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

[5]กลิ่นประทุม ปัญญาปิง ภัทราว งษ์พันธ์กมลและลดาวัลย์ วัฒนะจีระ. (2557).การปรับปรุงการเกิดก๊าซชีวภาพจากสิ่งเศษเหลือทิ้งในถังหมักแบบชุดและเดี่ยว.รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่. งบประมาณผลประโยชน์ประจาปี 2557.

[6] ตระกูลศักดิ์ เสนานิคม วรายุทธ คัมภีราวัฒน์ และอาคม แก้วระวัง. (2557).การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกองขยะ.โครงการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15.วันที่ 12 มีนาคม 2557.ณ วิทยาลัยการปกครองท้องถิ่น และอาคารพิมลกลกิจ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

การทดสอบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็น จากโมดูลไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อน

Performance Test on Power, Hot and Cold Water Generation of a Hybrid Photovoltaic/Thermal module

ฐกฤตธรณ์ ปัญศิริ[1]* อรรถกร อาสนคำ[2] และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์[2]

Thakrittorn Pansiri[1]* Attakorn Asanakham [2] and Tanongkiat Kiatsiriroat[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

[2]ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ. ห้วยแก้ว ต. สุเทพ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50200

[1]Energy Engineering, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University 50200

[2]Thermal System Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

* E-mail: tp_qr@hotmail.com, โทรศัพท์: 097-918-0032

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็นจากโมดูลไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อน ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ 2 รูปแบบ คือโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบนกว้าง 0.87 m ยาว 1.64 m หนา 0.11 m และโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน ขนาด กว้าง 0.82 m ยาว 1.60 m หนา 0.09 m และ แต่ละโมดูลมีศักยภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด 200 W การทดสอบดำเนินการในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โมดูลทั้งสองเอียง ทำมุม 18 องศากับแนวระดับ หันหน้าไปทางทิศใต้ ด้านหลังของโมดูลจะมีท่อน้ำมีน้ำไหลเวียนระบายความร้อน ทำให้โมดูลผลิตไฟฟ้าได้สูงขึ้น รวมถึงได้น้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ในเวลากลางวัน ในเวลากลางคืน โมดูลทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนสู่ท้องฟ้า ลดอุณหภูมิน้ำที่ไหลเวียน เพื่อผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืน จากผลการทดลองผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในตอนกลางวัน พบว่า ชนิดไม่มีกระจกปิดทับสามารถผลิตไฟฟ้าต่อวันได้ดีกว่า แต่ผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสุดท้ายต่ำกว่าแบบมีกระจกปิดทับ โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้และอุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดที่ได้ มีค่า 0.38 kWh และ 40.6°C ในขณะที่โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ จะให้ค่า 0.33 kWh และ 52.5°C ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองผลิตน้ำเย็นในตอนกลางคืนเป็นระยะเวลา 4 วันติดต่อกัน พบว่า โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับสามารถลดอุณหภูมิน้ำในถังขนาด 60ลิตรได้ดีกว่า จากอุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้นที่ประมาณ 31.5°C ลดเหลือ 22.9°C แต่โมดูลอีกรูปแบบหนึ่งสามารถลดอุณหภูมิน้ำได้เหลือเพียง 26°C และเมื่อนำน้ำเย็นที่ผลิตได้มาลดอุณหภูมิโมดูลในตอนกลางวัน พบว่า น้ำเย็นที่ผลิตได้นั้นสามารถใช้ลดอุณหภูมิโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับจากเดิมสูงสุด 55.5°C เหลือ 46.5°C ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นจากเดิม 11% ไปที่ 12.9% ส่วนโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ เมื่อนำน้ำเย็นมาลดอุณหภูมิโมดูลจากเดิมสูงสุด 68.7°C เหลือเพียง 53.4°C ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นจากเดิม 9.2% ไปที่ 10.8%

ABSTRACT

Performance tests on power, hot water and cool water generation of two 200W_p hybrid monocrystalline photovoltaic/thermal modules, with and without glass cover, were carried out. The module dimensions were 0.87 m width, 1.64 m length, 0.11 m thickness; and 0.82 m width, 1.60 m length and 0.09 thickness, respectively. The experimental tests were performed in Muang District, Chiang Mai and both modules were inclined 18 degree from horizontal plane with south facing. There was water circulation at the back of each module for module

cooling to increase power generation and hot water obtained was secondary output in the daytime. In the nighttime, the module acted as a nocturnal heat radiator to the sky for reducing temperature of the circulating water. During the daytime, it was found that the module without glass cover could generate more power but the maximum water temperature was less compared with the other unit. The daily generated power and the maximum water temperature were 0.38 kWh, 40.6°C and 0.33 kWh, 52.5°C, respectively. For cool water production, with 4 consecutive days testing, the module without glass cover could reduce more temperature of water in a 60 liter tank from the initial value at 31.5°C to be 22.9°C meanwhile the other one, the temperature dropped down to be 26°C only. After using the cool water for module cooling in the daytime, it was found that the maximum module temperature of the unit without glass cover could be reduced from 55.5°C to be 46.5°C and the efficiency could be up from 11% to be 12.9%. For the unit with glass cover, the maximum module temperature could be reduced from 68.7°C to be 53.4°C and the efficiency could be increased from 9.2% to be 10.8%.

คำหลัก: โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อน, การร่วมผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็น, การทดสอบ

Keywords: Hybrid Photovoltaic/Thermal module, Tri-Generation, Experimental test

1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มความต้องการใช้พลังงานของประเทศได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงขึ้นเฉลี่ยปีละร้อยละ 3.86 (ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปี, 2015) [1] ทำให้มีการนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้ ตลอดจนการค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตอุปกรณ์ด้านพลังงานทดแทน ให้มีประสิทธิภาพสูง เช่น โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อน (Photovoltaic/Thermal Solar Collector, PV/T) โดยมีการใช้น้ำระบายความร้อน จากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ลดอุณหภูมิโมดูล ช่วยเพิ่มความสามารถในการผลิตไฟฟ้า และน้ำที่ระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปน้ำร้อนในกระบวนการทางความร้อน [2] วิธีการดังกล่าวจะช่วยทำให้โมดูลยังคงมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่ดีและผลิตน้ำร้อนได้ในเวลาเดียวกัน

จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ในเวลากลางคืน โมดูลสามารถทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้อุณหภูมิของโมดูลต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศรอบๆ สามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนเช่นเดียวกับงานของ Chotivisarut and Kiatsiriroat, 2009 [3] ปรารถนาและทนงเกียรติ, 2550 [4] ที่ใช้แผ่นโลหะร่วมกับท่อความร้อน ระบายความร้อนสู่ท้องฟ้าเพื่อผลิตน้ำเย็นในตอนกลางคืน และเมื่อได้น้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำและปริมาณมากพอจะถูกนำไปทำความเย็นภายในอาคารในตอนกลางวัน ช่วยลดภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ในงานวิจัยนี้ จะนำโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อน ซึ่งส่วนใหญ่จะนำมาผลิตไฟฟ้า ความร้อน การนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาร่วมผลิตน้ำเย็นด้วยถือว่าเป็นแนวทางใหม่ที่ยังไม่มีรายงานการศึกษามาก่อน ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบ เพื่อผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็น เพื่อทำความเย็นในอาคารสำนักงานที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ เช่น โรงแรมโรงพยาบาล และ หอพัก เป็นต้น

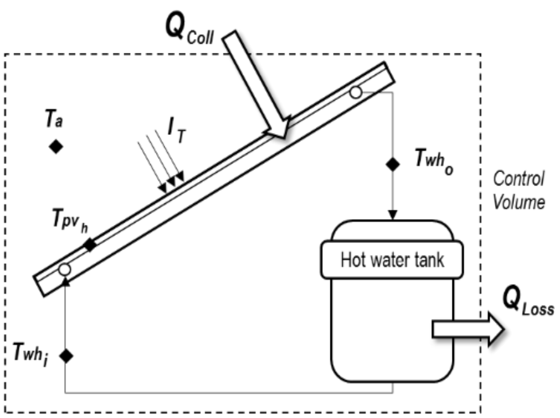
2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาศักยภาพของโมดูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อน ในการผลิตไฟฟ้า และน้ำร้อนในเวลากลางวันและการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืน

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาสมรรถนะของระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อนในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาภายใต้ 2 สภาวะ คือ ตอนกลางวัน ระบบทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในเวลาเดียวกัน ส่วนกลางคืนระบบจะทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นเพียงอย่างเดียว

การทำงานของระบบใน ตอนกลางวัน ดังรูปที่ 1 โมดูลจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นไฟฟ้า และจะมีน้ำจากถังเก็บน้ำร้อนไหลผ่านท่อที่ถูกติดตั้งไว้ด้านหลังโมดูลซึ่งจะช่วยระบายความร้อนและลดอุณหภูมิโมดูล น้ำที่ไหลเวียนจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและน้ำร้อนที่ได้จะถูกบรรจุอยู่ในถังเก็บน้ำร้อน



รูปที่ 1 การผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในตอนกลางวัน

อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากโมดูล สามารถคำนวณจาก

$$T_{wh_o} = \frac{A_{PV}}{\dot{m}_w C_{pw}}\left[\begin{matrix} F_R(\tau\alpha)_c I_T \\ -F_R U_L(T_{wh_i} - T_a) \end{matrix}\right] + T_{wh_i} \quad (1)$$

เมื่อ

$\dot{m}_w$ คือ อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านโมดูล, (kg/s)

C_{pw} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, (kJ/kg-K)

T_{wh_i} คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าถังน้ำร้อน, (K)

T_{wh_o} คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกถังน้ำร้อน, (K)

$(F_R\tau\alpha)_c$ คือ คุณลักษณะในการส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์

$F_R U_L$ คือ คุณลักษณะการสูญเสียความร้อนรวมจากโมดูล, (W/m^2K)

I_T คือ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์, (W/m^2)

T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (K)

A_{PV} คือ พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล, (m^2)

อัตราความร้อนที่สะสมในถังน้ำร้อน เมื่อสมมุติว่าไม่มีการแยกตัวของอุณหภูมิ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$Q_{stored\,H} = \frac{M_W C_{PW}\left(T_{wh_{i+1}} - T_{wh_i}\right)}{\Delta t} \quad (2)$$

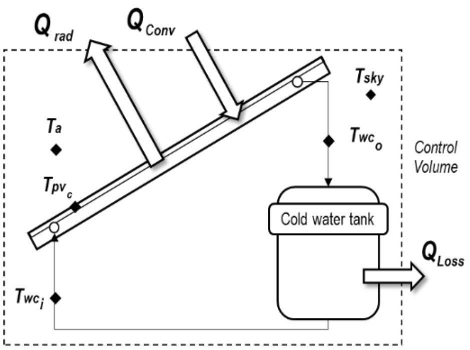
เมื่อ

M_w คือ มวลของน้ำในถังน้ำร้อน, (kg)

T_{wh_i} คือ อุณหภูมิของน้ำในถังในเวลาที่ t, (K)

$T_{wh_{i+1}}$ คือ อุณหภูมิของน้ำในถังในเวลาที่ $t + \Delta t$, (K)

การทำงานของระบบใน ตอนกลางคืนดังรูปที่ 2 การหมุนเวียนน้ำจะเหมือนระบบทำน้ำร้อนตอนกลางวัน แต่ใช้โมดูลทำหน้าที่เป็นตัวระบายความร้อนจากน้ำในถังน้ำเย็นออกสู่บรรยากาศ โดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าและจะมีการรับความร้อนจากการพาความร้อนของอากาศแวดล้อม ถ้าอัตราการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าสูงกว่าอัตราการรับความร้อนโดยการพาความร้อนจากอากาศรอบๆ อุณหภูมิผิวโมดูลจะต่ำกว่าอากาศโดยรอบ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมาส่งผ่านโมดูล จะสามารถลดอุณหภูมิน้ำให้ต่ำกว่าอากาศโดยรอบได้ น้ำเย็นที่ได้จะนำไปเก็บในถังน้ำเย็น ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิน้ำในถังลดลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2 การผลิตน้ำเย็นในตอนกลางคืน

อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากโมดูล สามารถคำนวณได้จาก

$$T_{wc_o} = \frac{A_{PV}}{\dot{m}_w C_{pw}} \begin{bmatrix} h_{PV}\left(T_a - T_{PV_c}\right) \\ -\varepsilon\sigma\left(T_{PV_c}{}^4 - T_{sky}{}^4\right) \end{bmatrix} + T_{wc_i} \quad (3)$$

เมื่อ

$\dot{m}_w$ คือ อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านโมดูล, (kg/s)

C_{pw} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, (J/kg-K)

T_{wc_i} คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าถังน้ำเย็น, (K)

T_{wc_o} คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกถังน้ำเย็น, (K)

A_{PV} คือ พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล, (m^2)

h_{PV} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของโมดูล จากอากาศสู่โมดูล, ($W/m^2 - K$)

T_{PV_c} คือ อุณหภูมิหน้าโมดูลตอนกลางคืน, (K)

T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (K)

T_{sky} คือ อุณหภูมิของท้องฟ้า, (K)

ε คือ ค่าสภาพการเปล่งรังสี

σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 - K^4$

สำหรับอุณหภูมิท้องฟ้า(T_{sky}) Bliss (1961) [5] ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องฟ้ากับอากาศที่บรรยากาศทั่วไป และความชื้นสัมพัทธ์ไว้ดังนี้

$$T_{sky} = T_a\left[0.8 + \frac{T_{dp} - 273.15}{250}\right]^{1/4} \quad (4)$$

เมื่อ

T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (K)

T_{dp} คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง, (K)

อัตราการทำความเย็นที่ถังน้ำเย็น สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$Q_{stored_C} = \frac{M_w C_{pw}\left(T_{wc_{i+1}} - T_{wc_i}\right)}{\Delta t} \quad (5)$$

เมื่อ

M_w คือ มวลของน้ำในถังน้ำร้อน, (kg)

T_{wc_i} คือ อุณหภูมิของน้ำในถังในเวลาที่ t, (K)

$T_{wc_{i+1}}$ คือ อุณหภูมิของน้ำในถังในเวลาที่ t + Δt, (K)

สำหรับสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้า หาได้จากประสิทธิภาพทางไฟฟ้า จากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ และความเข้มของรังสีอาทิตย์ ที่ตกกระทบหน้าโมดูล ดังนี้

$$\eta_e = \frac{P_e}{I_T A_{PV}} \quad (6)$$

เมื่อ

P_e คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้, (W)

A_{PV} คือ พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล, (m^2)

I_T คือ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์, (W/m^2)

4. วิธีการวิจัย

ระบบทดสอบดังรูปที่ 3 ประกอบด้วย โมดูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อนแบบโมโนคริสตัลไลน์ โดยใช้โมดูล 2 รูปแบบ ได้แก่ โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน(PV/T) รุ่น Power-Volt 200 W_p ขนาดกว้าง 0.82m ยาว 1.60 m หนา 0.09 m และโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน (PV/Tc) รุ่น Power-Therm 200 W_p ขนาดกว้าง 0.87 m ยาว 1.64 m หนา 0.11 m ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์[6] ทำการติดตั้งโมดูลบนโครงเหล็กทำมุม 18 องศากับแนวระดับ หัน

หน้าทางทิศใต้ โดยแต่ละโมดูลจะเชื่อมต่อกับถังน้ำร้อนและน้ำเย็น ขนาด 60 ลิตร หุ้มด้วยฉนวนAero-flex หนา 3 นิ้ว มี Flow meter ใช้ยี่ห้อ Blue point รุ่น S-4-100 LH ชนิดลูกลอย (ความละเอียด ± 5%) ทำการวัดและควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเวียนในโมดูลในหน่วย ลิตรต่อชั่วโมง ภาระทางไฟฟ้าจะใช้หลอดไฟแสงสว่างขนาด 300 W

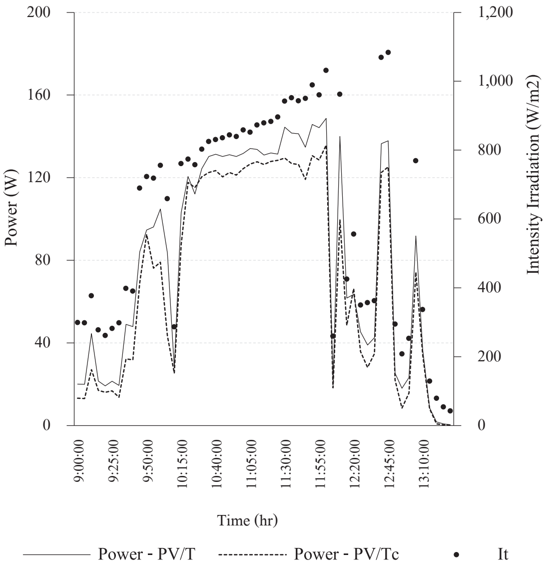
รูปที่ 3 การทดสอบโมดูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อนที่ติดตั้งบนโครงเหล็ก

การเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้ จะใช้ Multi – meter ใช้ยี่ห้อ Uni-Trend รุ่น PAC93 (ความแม่นยำ วัดแรงดันไฟฟ้า ± 0.8% และวัดกระแส ± 2%) ค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำเย็นและอุณหูภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ Thermocouple Type T (ความแม่นยำ ± 0.5°C) ซึ่งจะต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ Huato รุ่น S220-T8 และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะใช้ Pyranometer ยี่ห้อ Kipp&Zonen รุ่น CMP3 ที่ช่วงการวัดจะอยู่ที่ 0 ถึง 1,500 W/m^2 (ความแม่นยำ ± 5%) วางในระนาบเดียวกับโมดูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อน

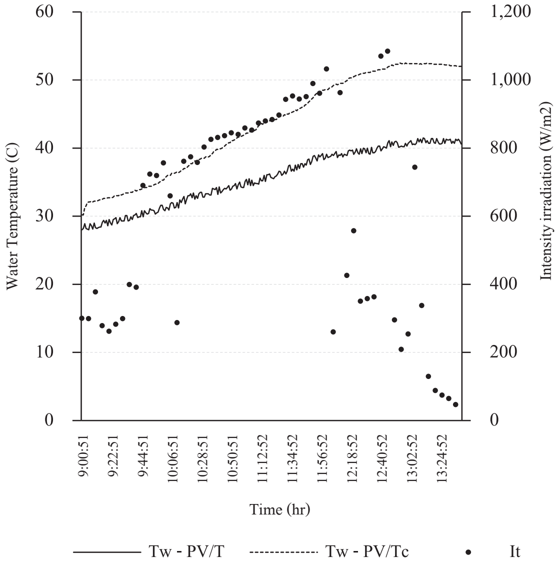
5. ผลการวิจัย

5.1 การผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อน ตอนกลางวัน

ผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในตอนกลางวัน พบว่า โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาได้ดีกว่าโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับประมาณ 21% แสดงดังรูปที่ 4 โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 148.7 W โดยโมดูลที่ไม่มีกระจกปิดทับสามารถทำได้สูงสุดเพียง 135.7 W แต่ในทางตรงกันข้าม โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับสามารถผลิตน้ำร้อนได้ดีกว่า ดังรูปที่ 5 สามารถผลิตน้ำร้อนจากอุณหภูมิ 30.2°C ได้จนถึง 52.5°C แต่โมดูลชนิดที่ไม่มีกระจกปิดทับ สามารถผลิตน้ำร้อนจาก 28°C ถึงเพียง 40.6°C หรือเพิ่มขึ้นเพียงประมาณ 12°C เท่านั้น

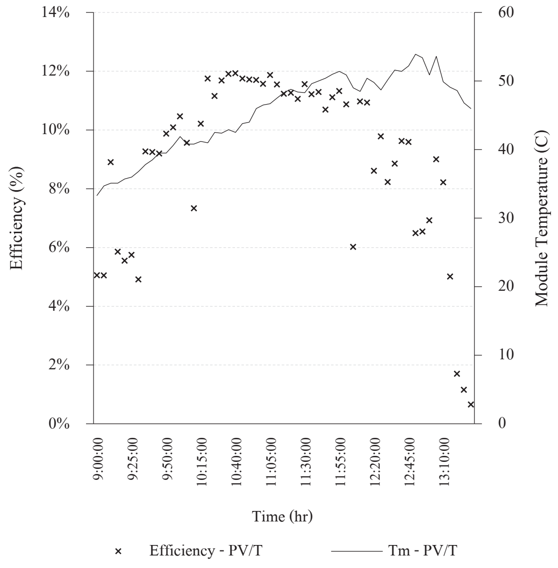


รูปที่ 4 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแต่ละระบบในช่วงเวลากลางวัน (23/9/2559)

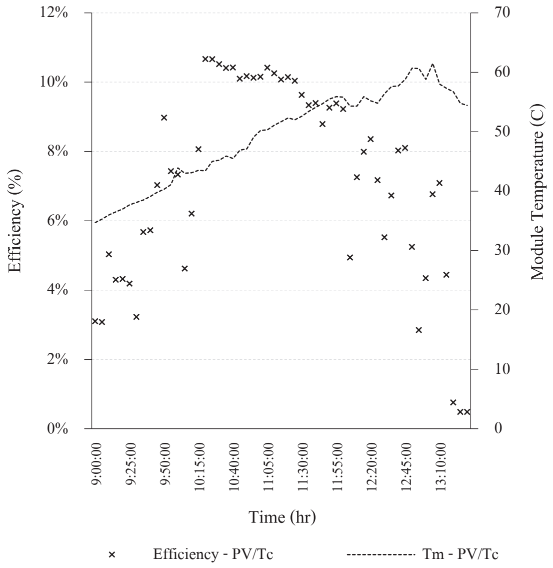


รูปที่ 5 อุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังน้ำร้อนของแต่ละระบบในช่วงเวลากลางวัน (23/9/2559)

จากผลการทดสอบดังกล่าว พบว่า การมีกระจกปิดทับของโมดูล ไม่เพียงแต่ช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อนจากโมดูลสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับมีอุณหภูมิสูงกว่า สามารถผลิตน้ำร้อนได้ดีกว่า แบบไม่มีกระจกปิดทับ แต่ในทางตรงกันข้าม การมีกระจกปิดทับหน้าโมดูลจะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้น้อยลง และยังทำให้โมดูลมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้โมดูลสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้น้อยลง เนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโมดูลด้วยดังรูปที่ 6 และ 7 พบว่าเมื่ออุณหภูมิโมดูลสูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากโมดูลด้อยลง



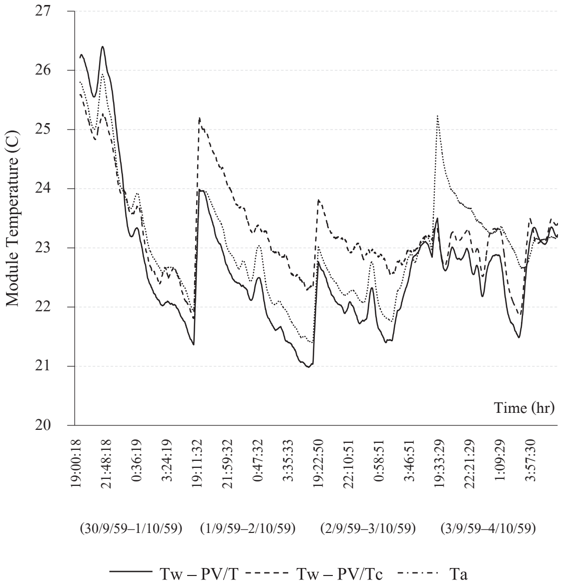
รูปที่ 6 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ ในตอนกลางวัน (23/9/2559)



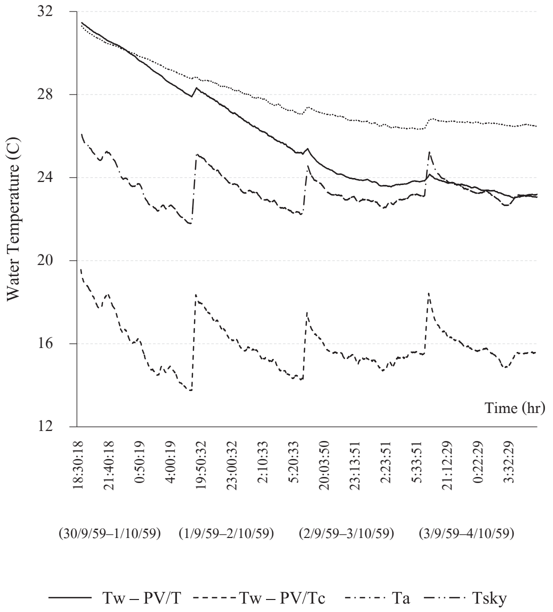
รูป 7 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ ในตอนกลางวัน (23/9/2559)

5.2 การผลิตน้ำเย็น ตอนกลางคืน

ผลการทดสอบการผลิตน้ำเย็นตอนกลางคืน (ช่วงวันที่ 30 กันยายน – 3 ตุลาคม 2559) พบว่าสามารถทำให้อุณหภูมิโมดูลมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยเฉพาะแบบที่ไม่มีกระจกปิดทับ แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้า สูงกว่าการพาความร้อนจากอากาศรอบๆ ดังรูปที่ 8 และเมื่อนำน้ำจากถังเก็บน้ำเย็นส่งเข้าสู่โมดูลในตอนกลางคืน จะช่วยให้อุณหภูมิของน้ำในแต่ละช่วงเวลาเมื่อออกจากโมดูลมีอุณหภูมิลดลงส่งผลให้อุณหภูมิน้ำในถังสะสมลดลงไปเรื่อยๆ จากรูปที่ 9 พบว่า การผลิตน้ำเย็นของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ สามารถลดอุณหภูมิน้ำได้ เฉลี่ย 2.68^{o}C ต่อคืน และเมื่อใช้ระยะเวลา 4 วันติดต่อกัน สามารถลดอุณหภูมิน้ำในถังขนาด 60 ลิตรได้ดีกว่า จากอุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้นที่ประมาณ 31.5^{o}C ลดเหลือ 22.9^{o}C แต่แบบที่มีกระจกปิดทับสามารถลดอุณหภูมิน้ำได้เหลือเพียง 26^{o}C หรือ สามารถลดอุณหภูมิน้ำในอัตราเฉลี่ยประมาณ 1.83^{o}C ต่อคืน แสดงให้เห็นว่า โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ สามารถใช้ลดอุณหภูมิของน้ำเย็นในตอนกลางคืนได้ดีกว่าโมดูลชนิด มีกระจกปิดทับ



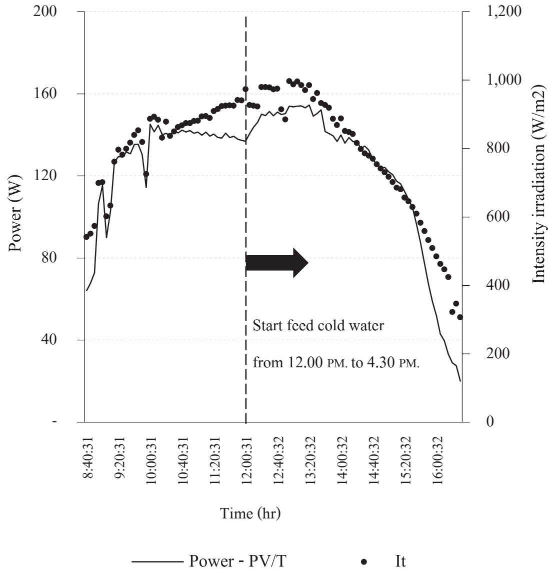
รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโมดูลของแต่ละระบบ ในเวลากลางคืนช่วงวันที่ 30 กันยายน – 3 ตุลาคม 2559



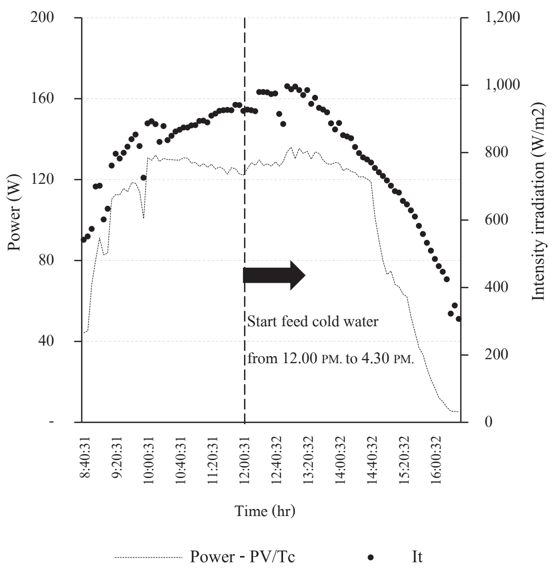
รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในถังของแต่ละระบบ กลางคืนช่วงวันที่ 30 กันยายน – 3 ตุลาคม 2559

5.3 การประยุกต์ใช้น้ำเย็น ในตอนกลางวัน

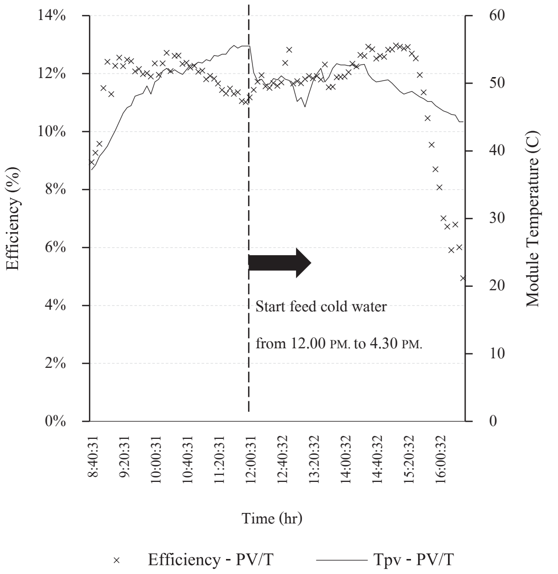
จากการทำงานของระบบที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อนได้ในเวลาเดียว สำหรับตอนกลางวัน พบว่าช่วงเวลา 12.00 น. – 16.30 น. เป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิโมดูลมีค่าสูงสุด ทำให้ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยลง จึงได้ทำการทดสอบใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืนมาระบายความร้อนให้แก่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าว โดยเปลี่ยนน้ำป้อนเข้าโมดูล จากเดิมใช้น้ำจากถังน้ำร้อนที่ใช้ผลิตน้ำร้อนในตอนกลางวัน เป็นป้อนน้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืนจากถังน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลแทน โดยการป้อนน้ำเย็นจะเริ่มป้อนตั้งแต่ เวลา 12.00 น. จนกระทั่ง 16.30 น. ดังรูปที่ 10 พบว่า หลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับแล้ว จากเดิมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 136.9 W สามารถผลิตเพิ่มขึ้นได้ถึง 154.2 W และดังรูปที่ 11 โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับจากเดิมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 122.3 W สามารถผลิตเพิ่มขึ้นได้ถึง 136 W



รูปที่ 10 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ ในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)

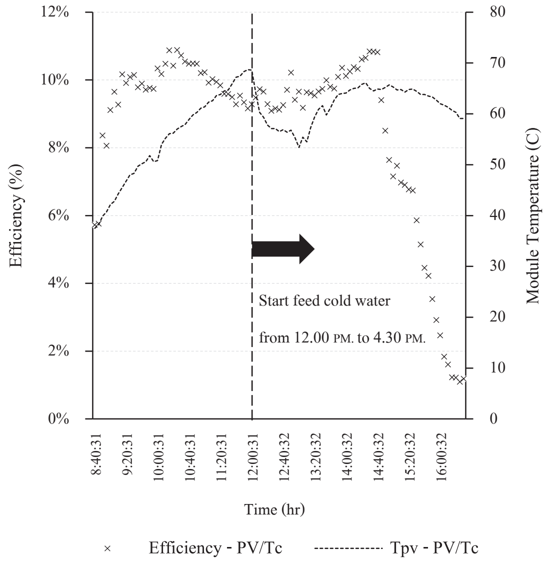


รูปที่ 11 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ ในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพและอุณหภูมิของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าโมดูล ในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)

ในทำนองเดียวกัน จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อป้อนน้ำเย็นส่งเข้าโมดูลในตอนกลางวัน ดังรูปที่ 12 สามารถลดอุณหภูมิของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ จากเดิม 55.5^{o}C เหลือ 46.5^{o}C ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นจากเดิม 11% ไปที่ 12.9% และ ดังรูปที่ 13 สามารถลดอุณหภูมิของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับจากเดิม 68.7^{o}C ลดลงเหลือ 53.4^{o}C ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลสูงขึ้นจากเดิม 9.2% ไปที่ 10.8%



รูปที่ 13 ประสิทธิภาพและอุณหภูมิของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าโมดูล ในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)

6. สรุป

ในการศึกษาสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็นจากโมดูลไฮบริดโฟโตโวลทาอิก/ความร้อน โดยใช้โมดูลชนิดที่มีกระจกปิดทับและไม่มีกระจกปิดทับ อาจสรุปผลได้ดังนี้

1.โมดูลแบบไม่มีกระจกปิดทับสามารถใช้ลดอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำเย็นในตอนกลางคืนได้ดีกว่า

2.โมดูลที่มีกระจกปิดทับด้านหน้าโมดูลจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนได้ดี ทำให้สามารถผลิตน้ำร้อนได้ดีกว่าในตอนกลางวัน แต่ในทางตรงกันข้ามจะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์ได้น้อยลง และทำให้อุณหภูมิโมดูลสูง ทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยลง

3. เมื่อมีการนำน้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืนนั้นมาช่วยระบายความร้อนให้แก่โมดูลในตอนกลางวัน จะช่วยลดอุณหภูมิของโมดูลลงได้ทำให้โมดูลมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการเอื้อเฟื้อการใช้สถานที่และอุปกรณ์ทดสอบ และค่าใช้จ่ายในโครงการวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าประจำปี (2015). [Online]Retrieved: 3/1/2016. Available from http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=200

[2] ประภาพิทย์ บุญหล้า (2556) การระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอรฟัสปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

[3] Chotivisarut, N. and Kiatsiriroat, T. (2009), Cooling load reduction of building by seasonal nocturnal cooling water from thermosyphon heat pipe radiator, **International Journal of Energy Research,** vol.33, issue 12, pp.1089-1098.

[4] ปรารถนา วันนารี, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, (2550) การศึกษาเชิงการทดลองของการทำน้ำเย็นภาคกลางคืนเพื่อลดภาระความเย็นในห้องปรับอากาศ, **การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนครั้งที่ 6,** โรงแรมอโมร่า ท่าแพ เชียงใหม่

[5] Bliss, R. W. (1961). Atmospheric Radiation near the Surface of the Ground, Solar Energy, 5: 103-120.

[6] Solimpek PV/T Catalog. (2016). [Online] Retrieved: 25/1/2016.Availablefrom http://www.solimpeks.com/information-manuals-utilities

TREC-9

Thailand Renewable Energy for Community Conference

NIA
สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ

ptt Group

FT
ENERGY

IRPC
IRPC Public Company Limited

PTS Combination

EMIS
A Euromoney Institutional Investor company

Thaioil

SOLARTRON

CHUPHOTIC

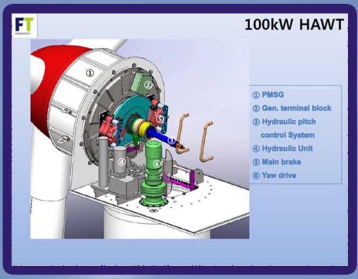
ENGINEO
www.engineo.co.th

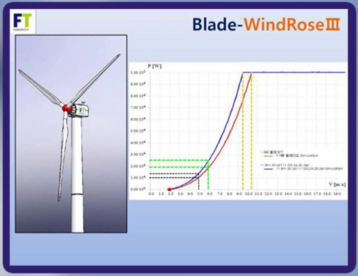
B.N.
SOLAR POWER

ATE
Autotec International Co.,Ltd.

FT
ENERGY

จำหน่ายติดตั้งกังหันลม
และระบบพลังงานทดแทน





Renewable Energy System and Consultant

Design engineering and renewable energy equipment.
Installation of wind turbines and solor panels power the whole system.
Electric and electronics.

70/12 Moo 6 Lat Sawai, Lumlukka, Pathumthani,
12150 Thailand
Tel : / Fax : +66 2159 0830
E-mail : Thanthip@ft-energy.co.th
Web : www.ft-energy .co.th

FT
ENERGY

ความสำเร็จในระดับสากล **ต่อเนื่องเป็นปีที่ 3**
ดัชนีความยั่งยืน DJSI 2016

IRPC มุ่งสู่เป้าหมายที่ท้าทาย และยืนหยัดได้อย่างยั่งยืน

IRPC ได้รับคัดเลือกเป็นสมาชิก DJSI 2016 ดัชนีความยั่งยืนที่ได้รับการยอมรับในระดับโลก ประเภท DJSI Emerging Markets ในกลุ่ม Oil & Gas Refining & Marketing ต่อเนื่องเป็นปีที่ 3

DJSI หรือดัชนีความยั่งยืนดาวโจนส์ (Down Jones Sustainability Indices) ได้เปิดตัวในปี 2542 เป็นดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิผลในการดำเนินธุรกิจ ตามแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืนของบริษัทชั้นนำทั่วโลก โดย RobecoSAM เป็นผู้ประเมินการดำเนินงานใน 3 ด้านคือ ด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งดัชนีดังกล่าวถือเป็นเกณฑ์ที่สำคัญสำหรับการสร้างความเชื่อมั่นให้นักลงทุนในการตัดสินใจลงทุน

IRPC
IRPC Public Company Limited

MEMBER OF
Dow Jones
Sustainability Indices
In Collaboration with RobecoSAM

www.irpc.co.th

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) หรือ สนช. เป็นหน่วยงานของรัฐที่จัดตั้งขึ้นโดยมีภารกิจหลัก คือ "การสร้างธุรกิจใหม่" หรือ "ธุรกิจนวัตกรรม" ให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นรูปธรรม ผ่านการเชื่อมโยง ส่งเสริม และพัฒนาโครงการนวัตกรรมร่วมกันบนแนวคิดการพัฒนานวัตกรรมระบบเปิด โดยมุ่งเน้นให้การสนับสนุนภาคเอกชนเป็นหลัก

รูปแบบการสนับสนุนผู้ประกอบการนวัตกรรม

แปลง เทคโนโลยี ...เป็น ทุน

สนใจทำธุรกิจนวัตกรรม...
รับเงินอุดหนุนให้เปล่าสูงสุด 5 ล้านบาท

เพื่อทำต้นแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตใหม่

เพียงท่าน มีแนวคิดดี รู้แหล่งเทคโนโลยี มองเห็นตลาด เราสามารถช่วยท่านเริ่มต้นธุรกิจนวัตกรรมได้ดังใจ

นวัตกรรมดี ไม่มีดอกเบี้ย 0%

ท่านสามารถขอรับสิทธิ...
กู้เงิน ฟรี! ดอกเบี้ยได้ยาวนานถึง 3 ปี

หรือเทียบเท่าดอกเบี้ยสูงสุดไม่เกิน 5 ล้านบาท

สำหรับดำเนินธุรกิจการผลิตสินค้าใหม่ ให้บริการรูปแบบใหม่ไม่ซ้ำใครหรือจะเป็นการคิดค้นกระบวนการผลิตในธุรกิจเดิมให้แตกต่างแต่สร้างมูลค่า

NIA สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) 73/2 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
73/2 Rama VI Road, Rajdhevee, Bangkok 10400 • Tel: +66-2-017 5555 • Fax: +66-2-017 5566
E-mail: info@nia.or.th Website: www.nia.or.th

MEMBER OF
Dow Jones
Sustainability Indices
In Collaboration with RobecoSAM
DJSI
ความสุขของคนไทย
คือ...ความสำเร็จที่ยิ่งใหญ่ของเรา
กลุ่ม ปตท. ติดอันดับดัชนีความยั่งยืน Dow Jones Sustainability Indices (DJSI* 2016) ต่อเนื่อง สะท้อนศักยภาพการดำเนินธุรกิจตามแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืนและได้รับการยอมรับในเวทีโลก ซึ่งผลการประเมินปี 2016 กลุ่ม ปตท. ได้รับการจัดอันดับ ดังนี้
• สมาชิก DJSI World และ DJSI Emerging Markets ของ Oil & Gas Upstream & Integrated Industry ใน Energy Industry Group
ปตท. ได้รับการจัดอันดับต่อเนื่องเป็นปีที่ 5
ปตท.สผ. ได้รับการจัดอันดับต่อเนื่องเป็นปีที่ 3 และได้รับการจัดเป็น Industry Leader ด้วย
• สมาชิก DJSI World และ DJSI Emerging Markets ของ Chemicals Industry ใน Materials Industry Group
พีทีที โกลบอล เคมิคอล ได้รับการจัดอันดับต่อเนื่องเป็นปีที่ 4
• สมาชิก DJSI Emerging Markets ของ Oil & Gas Refining & Marketing Industry ใน Energy Industry Group
ไทยออยล์ ได้รับการจัดอันดับต่อเนื่องเป็นปีที่ 4 และได้รับการจัดเป็น Industry Leader และ Industry Group Leader ด้วย
ไออาร์พีซี ได้รับการจัดอันดับต่อเนื่องเป็นปีที่ 3
กลุ่ม ปตท. มุ่งมั่นพัฒนาความยั่งยืนทุกด้าน ทั้งเพิ่มขีดความสามารถทางธุรกิจ รักษาสมดุลทางสิ่งแวดล้อม และสร้างคุณค่าระยะยาวแก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อเป้าหมายสูงสุด คือ ความสุข ความภาคภูมิใจของคนไทย และอนาคตที่ยั่งยืนของประเทศ
*หมายเหตุ ดัชนี DJSI เป็นดัชนีที่ใช้ประเมินศักยภาพการดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืนของบริษัทชั้นนำระดับโลก
ptt
PTTEP
ptt GLOBAL CHEMICAL
IRPC
ptt Group
www.pttplc.com

จัดทำโดย

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

และ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

www.reca.or.th